

ПРИРОДА

9 07



В НОМЕРЕ:

3 **Захаров И.А., Шайкевич Е.В.,
Ившин Н.В.**

**ДНК-штрихкодирование
в энтомологии**

Новая технология, основанная на методах молекулярной биологии, работает подобно штрихкоду на упаковке, который считывается сканером. Сегодня она востребована во многих областях биологии.

10 **Волинский А.Л.**

**Зависит ли прочность твердого тела
от его размеров?**

Такая зависимость действительно существует, причем в огромном диапазоне масштабов — от нано- до мега-. Ее можно четко выявить с помощью предлагаемого универсального метода оценки прочностных свойств.

19 **Калейдоскоп**

Гидрофизические съемки в Канадской Арктике (19). Шаровая молния — еще один эксперимент (20). Гладыш-пловец (20). Кельтские соляные копи (20). Крупнейший в мире лесной резерват (20). Древние дороги на космических снимках (61). Береговая линия Франции отступает (61). Змея защищается ядом жабы (61). Численные модели и наблюдения разошлись (62). «Ноев ковчег» Антарктики (62). Темпы таяния ледников (62). Рыбы и кораллы (62).

21 **Вершинин А.В.**

Центромеры и теломеры хромосом

Какие молекулярные структуры отвечают за активность двух важнейших районов хромосом, выполняющих одни и те же функции у всех видов эукариот? И хотя однозначного ответа на этот вопрос еще нет, многое уже становится ясно.

28 **Каримова О.А., Зекцер И.С.**

Вода под водой

В приморских районах недостаток в пресной воде хорошего качества можно значительно уменьшить или даже полностью покрыть за счет использования подземных вод, «бесполезно» стекающих в море.

33 **Никонов А.А.**

**Древнее цунами
на Соловецких островах**

41 **Расцветаева Р.К.**

**Открытие, дискредитация
и реабилитация одного
минерального вида**

47 **Алифанов В.Р.**

Ящерицы в эпоху динозавров

Ящерицы, эти реликты юрского периода, пережили похолодания, достигли расцвета в мезозойское время, их разнообразие испытало взлеты и падения. Но эти пресмыкающиеся выжили благодаря многим качествам, которых не было у их современников — динозавров.

Научные сообщения

59 **Лаухин С.А.**

**Левантийский коридор — этапы
первоначального расселения
человечества**

Наследие

63 **Гольдшмидт Р.**

Встреча с Россией

Биография современника

67 **Степаньянц С.Д.**

**«С головой ученого и душой
художника»**

К 100-летию К.А.Бродского

Заметки и наблюдения

76 **Уфимцев Г.Ф.**

Страна водопадов

80 **Новости науки**

Новый вид грызунов (80). Искусственная звезда. Сурдин В.Г. (80). Тонкие пленки на морской поверхности (81). Перспективы углеродных наноструктур (81). Нопепт: защита липидов мозга от окисления (82). Вспышки размножения непарного шелкопряда. Емец В.М. (82). Распределение кальмаров в Южно-Курильском районе (83). Нефтегазоносность шельфа Восточной Арктики (83). Характеристика водных масс Северной Атлантики (84). Древние австралийские животные вымерли по вине человека? (84).
Коротко (9, 40, 46)

Рецензии

85 **Тоточава А.Г.**

**Маленькие книжки о большой
Вселенной**

89 **Новые книги**

Встречи с забытым

91 **Стародубцев В.М., Супруненко Ю.П.**

«Второй Кронштадт»

CONTENTS:

3 Zakharov I.A., Shaikevich E.V., Ivshin N.V.

DNA-Barcoding in Entomology

A new technology based on molecular biology methods works like barcode on packing that is read by scanhead. Now it can be used in many biological sciences.

10 Volynskii A.L.

Does Mechanical Strength of Solids Depend on Their Dimensions?

Such dependence actually exists in a huge range of scales, from nano- to mega-, and can be clearly revealed by proposed method of mechanical properties estimation.

19 Kaleidoscope

Hydrophysical Survey in Canada Arctic (19). The Ball Lightning — a New Experiment (20). Backswimmer (20). Celtic Salt-Works (20). The World Largest Forest Reserve (20). Ancient Roads on Space Photographs (61). French Coastline Recedes (61). A Snake Defends Itself Using Toad's Venom (61). Numerical Simulations and Observations Diverge (62). «Noah Arc» of Antarctic (62). Rate of Glaciers Melting (62). Fishes and Corals (62).

21 Vershinin A.V.

Chromosomes Centromeres and Telomeres

What are the molecular structures that account for activity of the two most important chromosome regions that perform the same functions in all eukaryote species? Although unambiguous answer to this question is still absent, many things are becoming clear.

28 Karimova O.A., Zektzer I.S.

Water under Water

In near-coastal regions the deficit of good quality fresh water can be significantly reduced or even completely filled up by using underground waters «uselessly» streaming down into sea.

33 Nikonov A.A.

Ancient Tsunami at Solovki Islands

41 Rastzvetaeva R.K.

Discovery, Discrediting and Rehabilitation of a Mineral Species

47 Alifanov V.R.

Lizards in the Age of Dinosaurs

Lizards, these relicts of Jurassic period, had survived ice ages, had came to prosperity in Mesozoic, their diversity had known its ups and downs. But these reptiles survived due to many traits that were absent among their contemporaries — dinosaurs.

Scientific Communications

59 Laukhin S.A.

Levantine Corridor: Stages of Initial Humankind Colonization

Heritage

63 Goldshmidt R.

Encounter with Russia

Biography of Our Contemporary

67 Stepanjants S.D.

«With a Head of a Scientist and a Soul of an Artist» To Centenary of K.A.Brodskiy

Notes and Observations

76 Ufimtsev G.F.

A Country of Waterfalls

80 Science News

A New Rodent Species (80). An Artificial Star. **Surdin V.G.** (80). Thin Films on Sea Surface (81). Perspectives of Carbon Nanostructures. (81). Noopept: Brain Lipids Defense from Oxidation Damage (82). Gipsy Moth Population Explosion. **Emets V.M.** (82). Distribution of Squids in Southern Kuriles Waters (83). Oil and Gas Deposits at Eastern Arctic Shelf (83). Northern Atlantic Water Mass Characteristics (84). Ancient Australian Animals Extinctions Were Anthropogenic? (84).
In Brief (9, 40, 46)

Book Reviews

85 Totochava A.G.

Small Books on Large Universe

89 New Books

Encounters With Forgotten

91 Starodubtsev V.M., Suprunenko Yu.P.

«The Second Kronshtadt»

ДНК-штрихкодирование в энтомологии

И.А.Захаров, Е.В.Шайкевич, Н.В.Ившин

Любая технология в своем развитии неизбежно проходит определенные этапы: от научного открытия или изобретения через многочисленные варианты его возможного практического применения к стандартизации, промышленному внедрению и использованию в производстве или быту. Технология не возникает на пустом месте. Она всегда базируется на фундаментальных научных исследованиях. Цивилизованное общество в состоянии осознать, что и сама по себе наука представляет большую ценность. Недостаточно цивилизованное опосредованно вкладывает деньги в развитие науки своих соседей, импортируя их технологии, если это хоть сколько-нибудь дешевле в краткосрочной перспективе. Так или иначе, но новая технология — это то, в чем нуждается любое человеческое общество. Она позволяет ему лучше удовлетворять свои биологические потребности в пище, одежде, жилье и воспроизводстве себе подобных. Достаточно сытое общество обычно требует не только хлеба, но и зрелищ. В этом случае для технологий находят дополнительные приложения. Здесь хочется вспомнить изречение Козьмы Пруtkова: «Гений мыслит и создаёт. Человек обыкновенный приводит в исполнение. Дурак пользуется и не благодарит». В конечном

© Захаров И.А.,
Шайкевич Е.В., Ившин Н.В., 2007



Илья Артемьевич Захаров, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института общей генетики РАН им.Н.И.Вавилова, советник РАН. Научные интересы связаны с проблемами общей генетики и историей науки. Постоянный автор журнала «Природа».



Елена Владимировна Шайкевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник того же института. Занимается проблемами идентификации близкородственных видов насекомых.



Николай Викторович Ившин, кандидат биологических наук. Область интересов — идентификация близкородственных видов насекомых, лепидоптерология, макрофотография.

счете, новые технологии позволяют расширить занимаемую человеком экологическую нишу и обеспечить более высокую биологическую продуктивность человеческой популяции, эффективнее трансформировать окружающую среду «под себя», при этом нередко разрушая естественные природные местообитания других биологических видов, порой уничтожая их полностью. Однако разработка технологии — занятие часто достаточно неинтересное для человека с академическим складом ума, порой оно претит его этическим и эстетическим чувствам по отношению к природе, и его участие в этом — своеобразная плата обществу за потраченные на ученого средства.

Редок тот счастливый случай, когда нет столкновения интересов, т.е. когда и наука, и бизнес, и общество получают полезный инструмент для реализации своих целей. Подходящий пример такой ситуации — ДНК-штрихкодирование. Эта новая, интенсивно развивающаяся технология (в англоязычной литературе DNA BARCODING) может иметь необычно широкое применение. Основывается она на двух выдающихся достижениях молекулярной биологии, в свое время отмеченных Нобелевскими премиями: во-первых, на методах определения последовательности нуклеотидов в молекулах ДНК (ее секвенирования); во-вторых, на полимеразной цепной реакции, которая благодаря способности ДНК к репликации позволяет накопить (амплифицировать) выбранный фрагмент ее молекулы в количествах, пригодных для дальнейшего анализа. Основная идея ДНК-штрихкодирования заключается в том, что некий достаточно короткий стандартный участок ДНК может играть роль уникального маркера, позволяющего однозначно (или почти однозначно, так как существует внутривидовая изменчивость) определить видовую принадлежность организма подобно тому, как работает

штрихкод на упаковке, который считывается сканером при оплате товара. Новая технология оказалась востребованной во многих областях биологии, таких как систематика, эволюционная биология, оценка и сохранение биоразнообразия. Неудивительно, что в результате появился крупный международный проект «ДНК-штрихкод жизни».

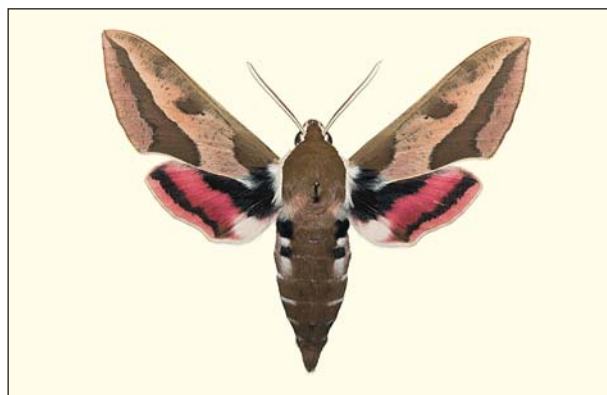
В 2003 г. канадский ученый П.Хеберт предложил использовать ДНК-штрихкодирование для видовой идентификации особей, включая трудно определяемых, поврежденных и находящихся на личиночной стадии развития, с помощью короткой стандартной последовательности цепи ДНК [1, 2]. Эта идея сразу привлекла внимание многих систематиков, генетиков и эволюционных биологов. В 2003 г. прошли первые лабораторные тренинги «ДНК и таксономия» и «Таксономия, ДНК и штрихкод жизни», спонсированные фондом «Alfred P.Sloan Foundation». Они показали, что предложенная технология недорога, удобна и позволяет даже неспециалистам проводить точную идентификацию организмов, что усиливает значимость таксономических исследований за пределами академических учреждений, например в агрономии, в здравоохранении, в образовании и во многих других сферах общества. В качестве маркера, выполняющего роль штрихкода, выбрали последовательность ДНК, кодирующую первую субъединицу митохондриальной цитохром-оксидазы (ген этого дыхательного фермента находится в митохондриальной ДНК).

В 2004 г. при поддержке вышеупомянутого фонда образовался консорциум Штрихкод Жизни (Consortium for the Barcode of Life). Через два года общая стоимость проекта составила более 2 млн долл. США. Активное участие приняли государственные и частные фонды Канады: «Canada Foundation for Innovation» и «Ontario Innovation Trust» спонсировали строитель-

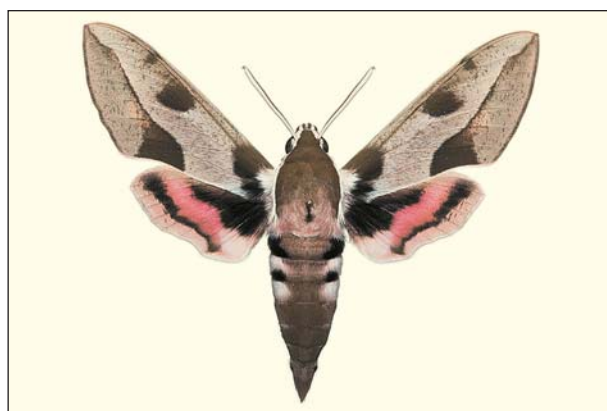
ство Института биоразнообразия в Онтарио при университете «University of Guelph» для размещения лабораторий по ДНК-штрихкодированию. Фонд «Gordon and Betty Moore Foundation of California» профинансировал выделение и идентификацию 225 тыс. ДНК-последовательностей из организмов разных таксономических групп. Фонд «Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC) of Canada» обеспечил создание канадской компьютерной сети для 40 специалистов по ДНК-штрихкодированию из университетских и правительственных лабораторий. В сети находится база данных по 10 тыс. канадским видам. Фонд «Genome Canada» поддержал исследования по ДНК-штрихкодированию грибов, растений и протистов.

В связи с тем что ресурсы проекта достаточно большие, но все же ограниченные, было предложено сфокусировать усилия на нескольких направлениях. Так, программа «All Leps» нацелена на изучение бабочек двух хорошо известных семейств: павлиноглазок и бражников Америки и Австралии. Сюда же вошли региональные исследовательские программы «Чешуекрылые Национального парка Great Smoky Mountains» (США) и «Area de Conservación Guanacaste» (Коста-Рика). Направление «Fish-Bol» связано с глобальным изучением рыб мировой фауны, а «ABVI» посвящено исследованию мировой фауны птиц. Существуют также и канадские программы «Canadian Biota» и «Barcoding of Canadian Arctic» по всем видам животных, грибов, лишайников и морских водорослей соответствующих регионов. Штрихкодирование фауны рыб найдет непосредственное использование в рыболовстве, охране биологических ресурсов и в торговле морепродуктами.

Большая группа проектов с публичным доступом к данным сосредоточена на сервере <http://www.boldsystems.org>. В частности, для энтомологов инте-



1



2



3



Взрослые бабочки из семейства бражников и их гусеницы:

1 — молочайный бражник (*H. euphorbiae*), 2 — южный молочайный бражник (*H. nicaea*), 3 — шмелевидка хорватская (*H. croatica*). Даже для специалиста различить два первых вида на стадии имаго трудно.

Здесь и далее фото Н.В.Ившина

ресен сервер <http://www.lepbarcoding.org>, где для картирования точек сбора материала используется геоинформационная система Google. Она связана с базой данных последовательностей ДНК первого сервера (табл.), а также базой фотоизображений соответствующих особей и онлайн-системой идентификации.

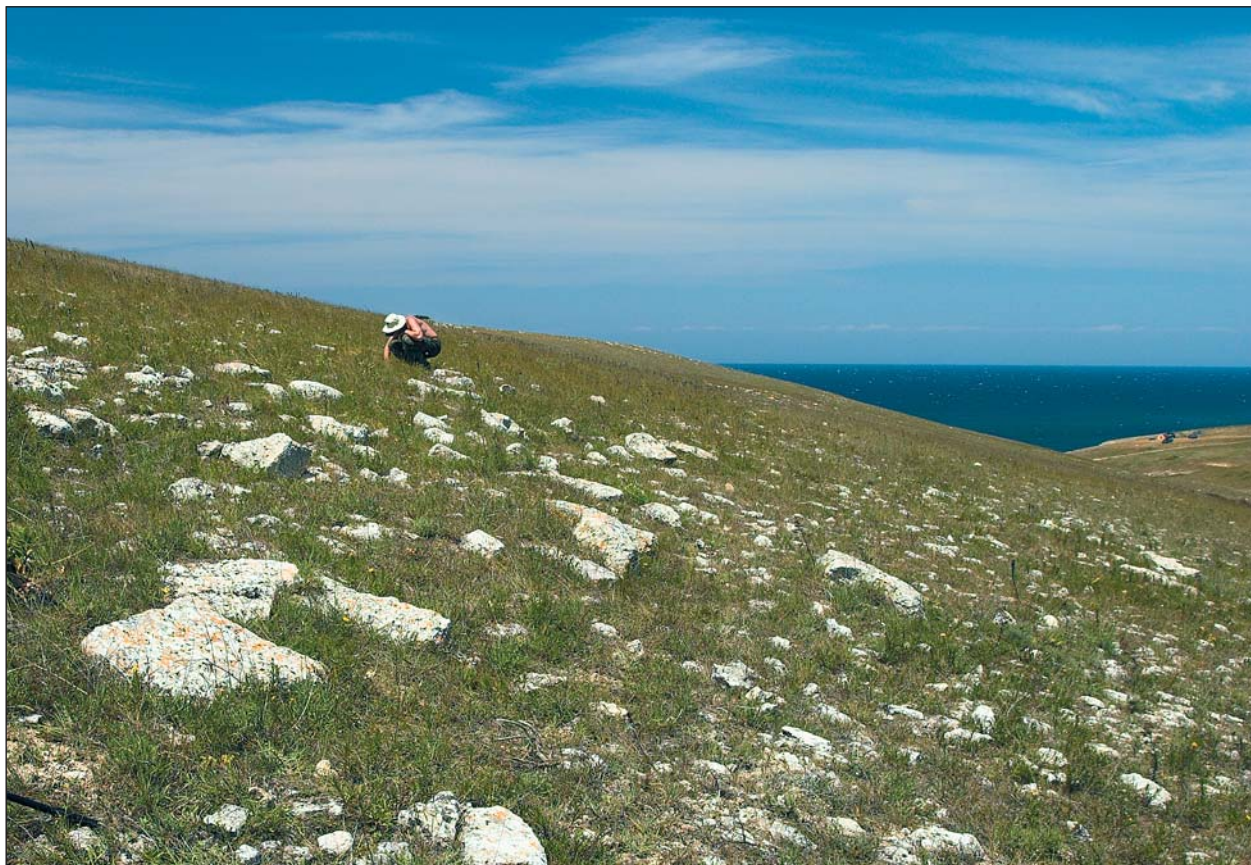
Таблица

Число изученных видов и количество ДНК-штрихкод последовательностей для трех наиболее крупных проектов на конец 2006 г.

Направление	Число видов	Число последовательностей
Бабочки — «All Lep»	7604	71186
Рыбы — «Fish-Bol»	2828	12304
Птицы «ABVI»	1260	6108



Местообитания всех трех видов бабочек на п-ове Тарханкут, где они встречаются вместе. Слева: вверху — гусеницы *H. euphorbiae* встречаются на различных видах молочая в балках Джангуля и на ровных участках плато; внизу — осыпи обрывистого берега — характерные местообитания кормового растения *H. pisaea* — молочая камнелюбивого. Гусеницы почти неразличимы на фоне известняка, поросшего желтыми и черными накипными лишайниками. Справа: гусеницы *H. croatica* питаются растениями цефаларии уральской, растущей преимущественно на южных склонах балок. Этот вид цефаларии в качестве кормового растения *H. croatica* отмечен впервые.



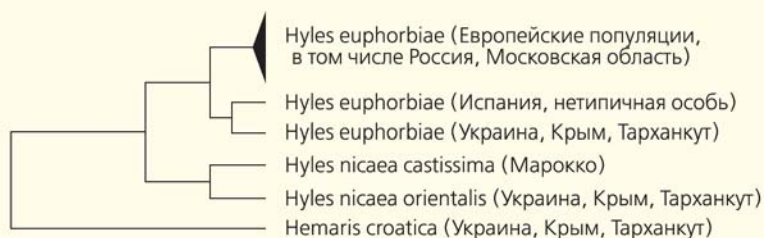
Подобная эффективность, достигнутая менее чем за четыре года исследований, вероятно, объясняется еще и тем, что молекулярная систематика переживает революцию, которая скорее всего в недалеком будущем приведет (а где-то уже привела) к глобальному пересмотру филогении для многих крупных таксонов. Благодаря молекулярной генетике обнаружены новые таксоны и даже формы жизни, как, например, археи. Результаты сравнения ДНК крупных таксонов указали на родство между круглыми червями и насекомыми. Как выяснилось, это не единственное свидетельство: имеется сходство в механизмах линьки, а также в устройстве нервной системы, чему ранее не придавали большого значения. Новые палеонтологические данные показали, что в процессе эволюции сегментация тела у беспозвоночных возникла неоднократно и потому не может лежать в основе уста-

новления эволюционного родства между таксонами высокого ранга. Таким образом, происхождение насекомых от полхет поставлено под сомнение.

Накопившаяся база по последовательностям ДНК разных организмов, развитие компьютерных алгоритмов анализа последовательностей, а также рост производительности самих компьютеров привели к тому, что исторический подход стал возможен не только в палеонтологии. Известно, что некоторые консервативные области генома схожи у большинства видов. Благодаря этому удается сравнивать морфологически несопоставимые организмы, а по степени накопления мутаций в таких областях характеризовать величину различий как между видами, так и между таксонами более высокого ранга, проводить реконструкцию эволюционного процесса.

Признание исторического подхода в молекулярной биоло-

гии привело и к смене философской основы эволюционных построений: наметился переход от позитивизма к неопозитивизму. Явное обращение к философским корням прослеживается во многих современных работах по молекулярной систематике, где, например, часто говорят не о филогенетическом дереве, а о дереве парсимонии (*parsimony tree*), т.е. о дереве сходства, а не родства. Для того чтобы оно стало истинным филогенетическим деревом, необходимо в нем выделить узел, соответствующий прародительской форме, т.е. «укоренить» дерево. Кроме того, возможен второй подход, также известный из классического филогенетического анализа, где выделяют древние (плезиоморфные) и современные (апоморфные) признаки и учитывают эту информацию при поиске корневого узла дерева. На молекулярных данных реализация второго пути, характерного для классической филогении, осно-



Дендрограмма, показывающая степень сходства исследуемых особей с базовыми данными. Под черным треугольником — слагающие ветви, характеризующие отдельных особей.

ванной преимущественно на морфологических данных, вряд ли возможна.

ДНК-штрихкодирование — это вполне закономерный подход, вытекающий из современных методологических и философских представлений в биологии. Он не претендует на знание того, каким путем шла эволюция, но позволяет точно различать виды и устойчивые субвидовые группировки.

Для иллюстрации приведем здесь фрагмент нашей работы с использованием технологии штрихкодирования при изучении систематики насекомых, в частности трех европейских видов бабочек семейства бражников [3]. Среди них наиболее интересен молочайный бражник *Hyles euphorbiae* — вид, обладающий большим популяционным разнообразием. Это стало причиной выделения внутри него нескольких подвидов. Ареал молочайного бражника охватывает всю Европу, прерываясь на севере приблизительно в районе 60-й параллели, а на востоке проходит по Казахстану, Таджикистану и Киргизии.

Южный молочайный бражник *Hyles nicaea* встречается на территориях Северной Африки, Южной Европы, Закавказья, Средней Азии. По опубликованному ранее молекулярно-генетическим данным в роде *Hyles* он более всего схож с предыдущим. Однако морфологически он го-

раздо менее разнообразен и подразделение его на подвиды не столь очевидно.

Третий вид — шмелевидка хорватская *Hemaris croatica* — обитает в основном в некоторых районах Южной Европы и Закавказья; найден также в Турции и Юго-Восточном Иране. Изменчивость вида невелика и ареал достаточно мал. Согласно последним ревизиям семейства, подвиды у хорватского бражника не выделяют. Эта бабочка принадлежит к совершенно другой трибе и другому роду, но к тому же подсемейству *Macroglossinae*, что и предыдущие два вида. Таким образом, шмелевидка хорватская может служить своеобразным контролем: ее отличие от видов *Hyles* должно быть очевидным, но не настолько большим, чтобы на их фоне различия между молочайными бражниками стали вообще незаметными.

ДНК-последовательности по 29 экземплярам бабочек получили из представленной в сети Интернет базы данных NCBI: 28 — для *H.euphorbiae* из центральных и южных районов Западной Европы (морфологически и географически эти бабочки соответствуют номинативному подвиду), и один — для *H.nicaea* из Северной Африки. Четыре бабочки собрал один из авторов, Ившин (три из них — на Украине в Западном Крыму, одну — на юге Московской обл.).

Оба места сбора сильно удалены территориально от мест сбора насекомых, данные по которым взяты из базы NCBI. У каждого из четырех экземпляров бабочек ДНК выделяли из ножки. Таким образом, насекомое оставалось почти неповрежденным, что очень важно для коллекционеров.

Используя стандартную методику, предложенную в рамках программы «Штрихкод жизни», мы установили последовательности ДНК для выбранных четырех экземпляров. Методологическая структура подобных проектов включает следующие этапы:

1. *Подбор экземпляров:* музейные коллекции, гербарии, зоопарки, аквариумы, коллекции замороженных тканей, банки семян, коллекции типовых культур и другие источники идентифицированных организмов.

2. *Лабораторный анализ* проводится согласно стандартной методике (пропись можно посмотреть в Интернете: http://barcoding.si.edu/PDF/Protocols_for_High_Volume_DNA_Barcode_Analysis.pdf). Сюда входит выделение, амплификация и секвенирование последовательностей ДНК. Установленная последовательность сохраняется в базе данных.

3. *База данных* играет ключевую роль, так как служит доступным справочником идентифицированных организмов. Сегодня роль таких баз данных играют «Nucleotide Sequence Database of the European Molecular Biology Lab» в Германии и «DNA Data Bank of Japan» в Японии. Они соответствуют стандартам «Штрихкод Жизни», опубликованным в Интернете: http://barcoding.si.edu/PDF/DWG_data_standards-Final.pdf.

4. *Анализ результатов* заключается в поиске образца ДНК в базе данных, наиболее схожего с ДНК идентифицируемого организма. На основании обнаруженных различий при помощи различных математических алгоритмов строятся деревья сходства, которые далее

используются в филогенетическом анализе. Специальная рабочая группа занимается поиском лучших путей анализа результатов ДНК-штрихкодирования, а также их представления и дальнейшего использования.

У изученных экземпляров бабочек мы установили часть последовательности гена первой субъединицы митохондриальной цитохром-оксидазы, длина которой составила 612 нуклеотидных пар. Построенное с помощью алгоритма Neighbor-Joining линейаризованное дерево показывает степень сходства анализируемых особей с представленными в базе данных. Особи *H.nicaea* заметно отличаются от *H.euphorbiae*, а экземпляр *H.croatica*, как и ожидалось, стоит особняком от всех остальных.

Экземпляры *H.nicaea castissima* и *H.nicaea orientalis* достаточно хорошо различаются, но эти различия не настолько

сильны, как у двух изученных видов *Hyles*. Можно предположить, что *H.nicaea castissima* и *H.nicaea orientalis* действительно заслуживают статуса подвидов.

У *H.euphorbiae* наблюдается три наиболее четко выраженных кластера. Первый, в котором оказалось большинство бабочек, соответствует европейскому подвиду *H.euphorbiae euphorbiae*. Сюда вошли особи из популяций Германии, Франции, Италии, Испании, Турции, Армении и Казахстана. В этот же кластер попал и экземпляр из приокской подмосковной популяции. Второй и третий кластеры образованы одним испанским и одним крымским экземплярами *H.euphorbiae*. Можно предположить, что крымская популяция в силу географической изоляции действительно отличается от других европейских. Эти различия приближаются к подвидовым, найденным у *H.ni-*

caea. Для проверки данной гипотезы требуются исследования на материале большого объема. Ситуация с испанским экземпляром гораздо менее ясна, так как для него нет точных данных о месте сбора, и вопрос о принадлежности его популяции к какому-либо географическому или экологическому изоляту остается открытым. Стоит заметить, что остальные семь экземпляров из Испании попали в первый кластер.

Показанное выше — не более чем пример возможного применения технологии ДНК-штрихкодирования. Для получения статистически надежных результатов, относящихся к систематике бражников, и для анализа их внутривидовой изменчивости нужны гораздо большие выборки. Но уже сейчас видно, что методика, предложенная мировому сообществу биологов, действительно успешно работает. ■

Литература

1. Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L., Dewaard J.R. // Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 2003. V.270. P.313—321.
2. Hebert P.D.N., Ratsingham S., Dewaard J.R. // Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 2003. V.270. P.596—599.
3. Danner F., Eitschberger U., Surholt B. // Die Schwarmer der westlichen Palaearktis. Herbiopoliaria. Buchreihe zur Lepidopterologie. Band 4/1. Marktleuthen, 1998.

Молниеносный бросок продолжительностью 1/50 с и в два раза более мощный укус, чем укус современной белой акулы при давлении 6 т/см², — такова мощность страшной челюсти акулы *Dunkleosteus terrelli*. Этот хищник наводил ужас на обитателей девонских вод 400 млн лет назад, а его характеристики получила группа американских палеонтологов на биомеханической модели, основой для которой послужила челюсть девонского монстра.

Sciences et Avenir. 2007. №719. P.23 (Франция).

С целью картографирования океанского дна два автономных подводных аппарата (Autonomous Underwater Vehicle — AUV) компании «C&C Technologies» (США) выполнили с января 2001 г. глубоководные промеры общей протяженностью в 82 тыс. км. Скорость движения аппаратов составляла 3,8 узла, а длина промерных галсов более чем вдвое превысила длину экватора. Сейчас компания вводит в эксплуатацию третий AUV и считает, что к концу 2007 г. общая протяженность промеренных галсов, выполненных тремя аппарата-

ми, уже втрое превысит длину экватора.

www.cctechnol.com; Hydro International. 2007. V.11. №3. P.14 (Нидерланды).

По данным французских и американских исследователей, лидеры среди животных по запоминанию образов — голуби и бабуины. После нескольких лет тренировок голуби могут запомнить до 1200, а бабуины — до 5 тыс. изображений.

Science et Vie. 2006. №1072. P.21 (Франция).

Зависит ли прочность твердого тела от его размеров?

Член-корреспондент РАН А.Л.Волынский

Вопрос, вынесенный в заголовок, может показаться странным. Под прочностью обычно понимают напряжение, при достижении которого твердое тело распадается на части, — именно напряжение (т.е. силу, деленную на поперечное сечение), а не просто силу. Сила действительно зависит от размеров твердого тела. Например, чтобы разорвать одну нить, достаточно относительно малой силы, а чтобы разорвать сплетенный из этих же ниток канат, необходимо затратить существенно большее усилие. Однако если силу отнести к поперечному сечению твердого тела (в первом случае малую силу к сечению одной нитки, а во втором — большую силу к сумме сечений всех ниток, составляющих канат), мы получим одно и то же разрушающее напряжение, или прочность. Казалось бы, ответ на заданный вопрос получен: нет, не зависит.

Разрушительное несовершенство

Однако все оказывается не так просто, если обратиться к практике. Еще в начале прошлого века знаменитый американский ученый А.Гриффитс обнаружил удивительный эффект, опровергающий наш простой



Александр Львович Волынский, доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник химического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — структура и механика полимеров.

ответ. Он измерял прочность стеклянных волокон различного диаметра и установил, что с уменьшением диаметра прочность отдельных волокон увеличивается. Это увеличение далеко выходит за рамки погрешности измерений. Наиболее тонкие из исследованных волокон (диаметром $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ см) имеют прочность в 50–100 раз большую, чем волокна большего диаметра. В последующих исследованиях Гриффитс и другие физики разгадали механизм обнаруженного явления. Оказывается, прочность твердого тела определяется не только и даже не столько прочностью межатомных или межмолекулярных связей, связывающих атомы: она зависит от реальной структуры объекта. В этом случае под структурой понимаются разного рода неконтролируемые несовершенст-

ва, дефекты, посторонние микроскопические включения, микротрещинки и т.д. Именно такие несовершенства структуры собирают вокруг себя (концентрируют) напряжения, во много раз превосходящие среднее приложенное напряжение. В результате указанного эффекта как раз в местах наибольшей концентрации напряжений зарождаются и развиваются трещины, приводящие к катастрофическому разрушению твердого тела. Дефекты структуры распределены в объеме и на поверхности твердого тела случайным образом. Очевидно, что их общее количество зависит от размеров твердого тела: чем больше размеры, тем больше в нем содержится дефектов и тем выше вероятность его разрушения при приложении одной и той же нагрузки. Вот почему прочность твер-

дых тел растет с уменьшением их геометрических размеров.

Но установленные закономерности не снимают полностью вопроса о взаимоотношениях прочности и масштабов. Возникает новый вопрос: будет ли зависеть прочность твердых тел от их размеров, если последние станут соизмеримыми с молекулярными размерами? Ответ на него оказывается принципиальным, если вспомнить о бурном развитии в последние годы нанотехнологий [1]. Измельчение твердых тел до столь малых агрегатов молекул (на несколько порядков меньших, чем объекты, исследованные Гриффитсом) приводит к весьма важным последствиям [1–3]. Установлено, что переход вещества от микро- к наноразмерам влечет за собой качественные изменения в их физических, механических, физико-химических и других свойствах. Эти изменения настолько перспективны в практическом отношении, что перед учеными встает неотложная задача изучить и понять механизм их возникновения.

Чем же отличаются твердые тела, имеющие наноразмеры, от обычных твердых тел? Самое очевидное различие — рост роли приповерхностной области. Взаимодействие между молекулами (атомами) на поверхности отличается от объемного, поскольку они не имеют соседей с внешней стороны. В объемных, блочных, твердых телах вклад этого слоя в макроскопические свойства крайне мал, и им обычно пренебрегают. Однако когда размеры твердого тела делаются малыми, соизмеримыми с молекулярными размерами (наноразмерными), влияние поверхностных слоев становится значительным, и свойства вещества качественно изменяются [1–3].

Несмотря на исключительную важность сведений о свойствах вещества в «наносостоянии», указанная проблема пока далека от своего решения. В частности, практически отсутст-

вуют достоверные сведения о деформационно-прочностных свойствах материала, имеющего размер единицы — десятки нанометров. Отсутствие данных о деформационно-прочностных свойствах твердых тел в слоях нанометрового диапазона обусловлено главным образом экспериментальными трудностями. Действительно, трудно себе представить, каким образом образец толщиной, например, 10 нм можно поместить в некое устройство, подвергнуть деформации и измерить соответствующее напряжение. А ведь получить такие данные — значит не только ответить на вопрос, сформулированный в названии, но и экспериментально обосновать важнейшие положения теории твердого тела.

Измеряем «нанопрочность»

Понятно, что развитие новых методов исследования, способных дать достоверную информацию о фундаментальных свойствах «нановещества», очень актуально. Для практического решения данной задачи на химическом факультете МГУ им.М.В.Ломоносова был предложен новый подход к оценке механических свойств твердых тел, который базируется на обнаруженных ранее фундаментальных деформационно-прочностных свойствах полимерных пленок с наносенным на их поверхность тонким покрытием [4–9]. В экспериментальном плане такой подход очень прост. Твердое тело, свойства которого необходимо оценить, наносится в виде тонкого (практически любой толщины) слоя на поверхность полимерной пленки. Методы такого нанесения хорошо разработаны, поскольку полимерные пленки с тонкими покрытиями широко используются в практике и поэтому выпускаются в промышленном масштабе.

Если такую пленку с покрытием подвергнуть простому

растяжению в одном направлении*, на ее поверхности произойдут удивительные превращения. На рис.1 представлена электронная микрофотография рельефа полимерной пленки с покрытием после растяжения пленки в полтора раза. Светлые полосы являются фрагментами разрушившегося покрытия, а темные — образовавшиеся трещины, т.е. обнажившаяся поверхность полимера. Видно, что покрытие распадается на множество сильно вытянутых островков-полос примерно одинакового размера, ориентированных перпендикулярно направлению растяжения, и одновременно на этих фрагментах возникает регулярный волнообразный рельеф.

Экспериментальное и теоретическое исследование обнаруженного явления позволило разработать универсальную методику оценки механических свойств, и в частности прочности твердых тел в слоях практически любой толщины. Здесь нам понадобится установленная в работах [4–9] четкая связь между прямо наблюдаемыми особенностями фрагментации покрытия при деформировании полимера-подложки и свойствами материала покрытия и подложки. В частности, средний размер (L) фрагмента разрушения в направлении оси растяжения (светлых полос на рис.1) оказывается равным

$$L = 4b\sigma^*/\sigma_0, \quad (1)$$

где b — толщина покрытия, σ^* — предел его прочности и σ_0 — напряжение в подложке. Значение b известно, величина σ_0 легко определяется в эксперименте, а L прямо измеряется на микрофотографии. Таким образом, соотношение (1) дает возможность простым путем находить важ-

* Подчеркнем, что полимерная пленка стремится сохранить свой объем. Поэтому одноосное растяжение сопровождается сжатием в направлении, перпендикулярном растягивающей силе. Вообще сжатие с растяжением часто сопутствуют друг другу при деформациях.

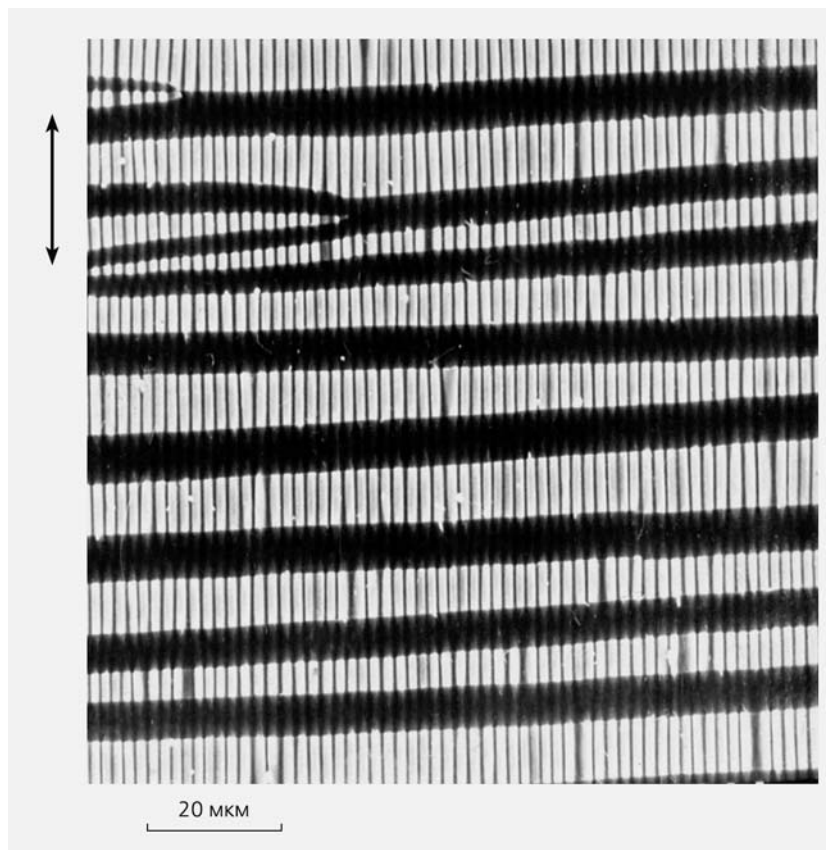


Рис.1. Поверхность образца поливинилхлорида, на который был нанесен тонкий (16 нм) слой платины, и растянутого после этого на 50% при 90°C (изображение получено в сканирующем электронном микроскопе). Здесь и далее двойная стрелка показывает направление растяжения.

нейшую характеристику твердого тела — прочность — в слоях практически любой толщины.

Прежде чем мы оценим прочность металлического покрытия в нанометровых слоях, зададимся вопросом: а как нам быть с дефектностью покрытия, нанесенного на поверхность полимерной пленки? Вопрос не праздный, если вспомнить знаменитые опыты Гриффитса. Действительно, нам важно знать, какую прочность мы определяем с помощью уравнения (1), с учетом характеристической дефектности или без нее. Используемая методика дает ответ и на этот вопрос. Оказывается, что на первых стадиях деформации полимерной подложки покрытие дробится на систему фрагментов самого разного

размера. Этот процесс как раз и обусловлен наличием в покрытии хаотически расположенных микродефектов, о которых речь шла выше. Каждый такой дефект, представляющий концентратор напряжения, рождает трещину, в результате чего на поверхности полимерной пленки образуется сообщество фрагментов с широким распределением по размерам. Однако после возникновения начального разбиения по местам дефектов развивается весьма интересный, уникальный процесс разрушения уже каждого из возникших островков. Если процесс растяжения подложки продолжается, каждый образовавшийся фрагмент остается под нагрузкой. Но напряжение в пределах островка распреде-

лено крайне неравномерно: на концах оно равно нулю, а по мере удаления от концов растёт и достигает своего максимума точно в центре фрагмента. В ходе растягивания напряжение во всех фрагментах растёт и в какой-то момент точно в центре достигает предела прочности. Происходит дальнейшее разрушение покрытия, причем удивительно регулярно: каждый островок делится на две равные части. Рис.2 наглядно иллюстрирует это явление. Такого рода дробление каждого фрагмента надвое продолжается, пока слабая полимерная подложка способна передавать островкам напряжение, достаточное для их разрушения. Чем больше подложка растягивается, тем меньше становятся размеры фрагментов, и в конце концов они станут столь малыми, что напряжение в центре не будет достигать необходимой величины; фрагменты перестанут делиться, а начнут просто удаляться друг от друга на растягиваемой подложке, сохраняя свои размеры. В силу изложенных причин размеры фрагментов выравниваются, и на поверхности подложки возникает система островков покрытия, имеющая весьма узкое распределение по размерам.

Итак, использованная методика позволяет разделить процесс фрагментации твердого тела (покрытия) на две части. Сначала «срабатывают» дефекты в покрытии, в результате чего возникает набор фрагментов разрушения покрытия самых разных размеров, после чего наступает стадия регулярного разрушения каждого фрагмента на две равные части. Полученные результаты позволяют сделать два важных вывода. Во-первых, даже самые тонкие пленки твердого тела, имеющие нанометровые размеры, содержат дефекты, способные вызывать их разрушение. Во-вторых, размер фрагментов, получаемых на второй стадии разрушения, характеризуется прочностью бездефект-

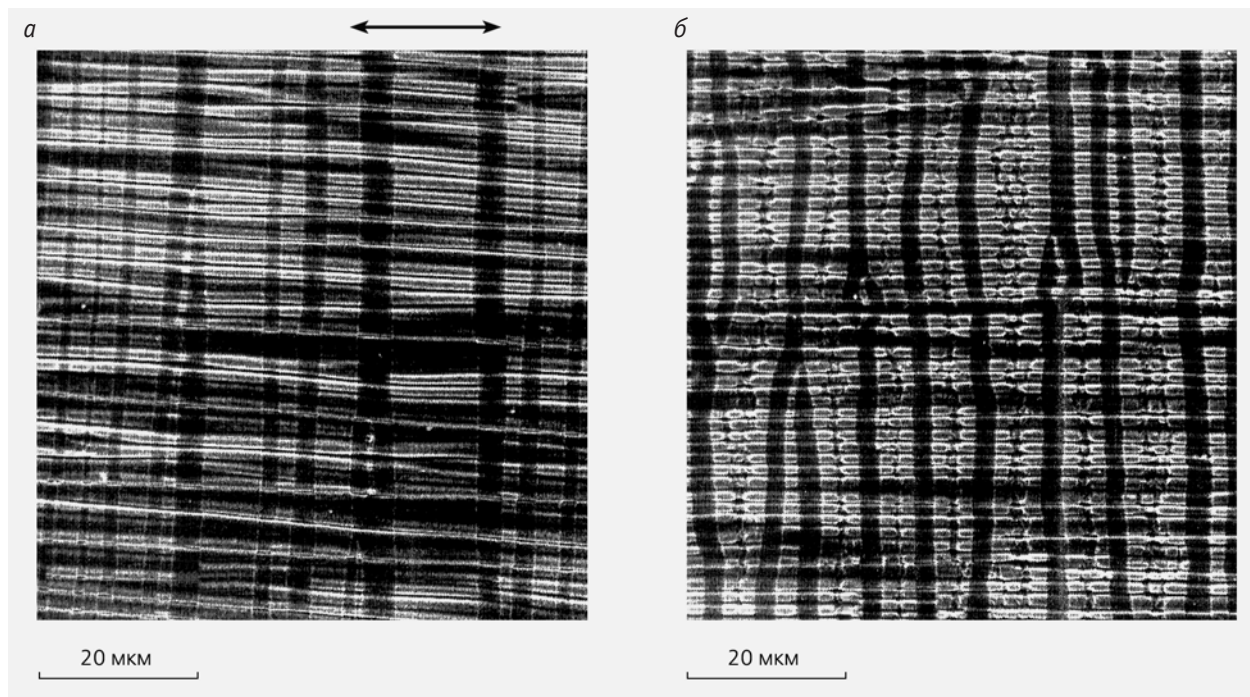


Рис.2. Поверхность образца полиэтилентерефталата с тонким металлическим покрытием после его деформирования на 50% при 100°C (а) и после его дополнительного растяжения еще на 50% при 80°C (б) (изображение получено в сканирующем электронном микроскопе).

ного твердого тела. Действительно, возникновение трещины строго в середине каждого фрагмента не может быть связано с наличием какого-либо дефекта, поскольку последние расположены в покрытии хаотически.

Теперь можно попытаться использовать формулу (1) для оценки прочности твердого тела в слоях нанометрового диапазона. На рис.3 представлены зависимости прочности платины и золота, вычисленные с помощью соотношения (1), от толщины металлического слоя, нанесенного на полиэтилентерефталатную пленку. Видно, что в интервале толщин от 30 до ~15 нм прочность обоих металлов практически не зависит от толщины и составляет 18–22 кг/мм² для золота и 25–30 кг/мм² для платины. Эти значения количественно согласуются с известными значениями прочности для блочных металлов (17.6–25 кг/мм² для золота и 24–35.1 кг/мм² для платины

[10]). В то же время при уменьшении толщины покрытия ниже примерно 15 нм прочность обоих металлов начинает возрастать: для платины достигается значение 150–170 кг/мм², для

золота — до 280 кг/мм². Получается, что прочность металла в нанослоях по крайней мере на порядок превосходит прочность блочного материала. Приведенные результаты можно

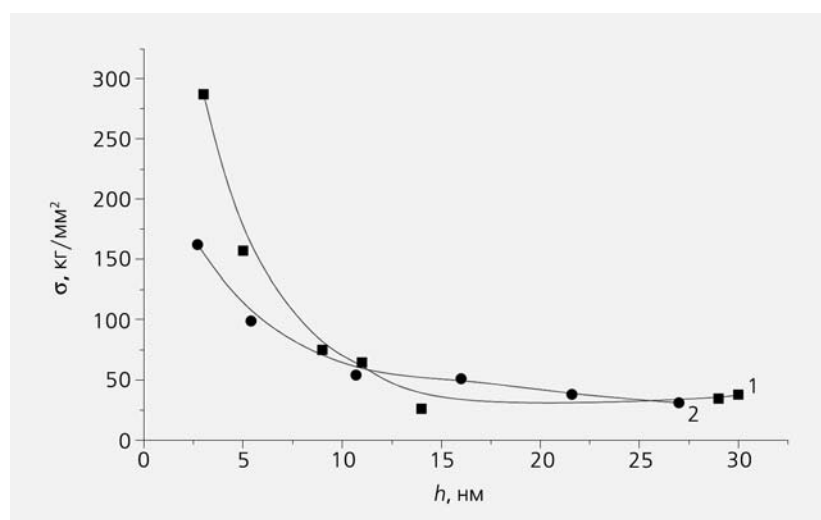


Рис.3. Зависимости прочности золота (1) и платины (2), вычисленной с помощью соотношения (1), от толщины металлического слоя, нанесенного на пленку полиэтилентерефталата. (Пленку с покрытием растягивали на 100% при 90°C.)

считать первой прямой экспериментальной оценкой прочности твердого тела нанометрового размера в условиях его растяжения. Кроме того, эти данные позволяют провести условную границу между размерами твердого тела, в данном случае металла, в обычном объемном состоянии и в наносостоянии. Итак, ответ получен, прочность твердого тела зависит от его размеров в наноразмерном диапазоне: чем меньше размер, тем выше прочность. Важно отметить, что, несмотря на отсутствие прямых измерений прочности твердого тела в нанослоях, теория предсказывает рост прочности твердых тел при переходе к наномасштабам [11]. А что происходит, наоборот, в макромире?

От нано- к мега-

Предлагаемый подход универсален и пригоден не только для оценки прочности ультратонких слоев. Все структурные особенности, имеющие место при деформировании пленок с покрытием (рис.1), выполняются и для других аналогичных систем. Дальнейшие исследования показали, что возникновение регулярных структур носит общий характер и не зависит от

природы материала подложки и покрытия. Необходимыми условиями, определяющими саму возможность образования описанных выше структур в результате деформации, являются: во-первых, пренебрежимо малая толщина покрытия по сравнению с толщиной подложки и, во-вторых, значительное различие в модулях упругости (жесткости) покрытия и подложки. Другими словами, система должна быть построена из жесткого тонкого твердого тела, покоящегося на мягкой, податливой, но толстой подложке. Закономерности поверхностного структурообразования (фрагментация покрытия и формирование регулярного рельефа) обусловлены действием сил, приложенных со стороны податливой подложки.

Полимерная пленка с тонким покрытием моделирует любые системы, построенные по принципу «тонкое твердое на толстом мягком». Это обстоятельство позволяет оценить деформационно-прочностные свойства других аналогичных систем. Наиболее интригующей кажется попытка использовать развитые выше представления для оценки свойств такого грандиозного объекта, как земная кора.

В настоящее время не вызывает сомнений тот факт, что Земля представляет собой ти-

пичную систему «твердое покрытие на мягком основании». Согласно современным взглядам, относительно тонкая (5–50 км) твердая наружная оболочка Земли (литосфера) покоится на относительно податливой и толстой (2900 км) оболочке — верхней мантии. Вязкое, текучее вещество мантии Земли находится в состоянии неустойчивости и непрерывно перемещается благодаря тепловому градиенту [12], из-за чего в земной коре генерируются механические напряжения. Они отвечают за различные геодинамические процессы, происходящие на Земле, — дрейф континентов, землетрясения, процессы рельефообразования. Итак, строение верхних оболочек Земли в полной мере, по обоим условиям, соответствует критериям рассматриваемых систем.

Сопоставим два рельефа — рельеф полимерных пленок с тонким покрытием, растянутых в одном направлении, и реально существующий рельеф океанического дна. Это позволяет сделать рис.4, где представлены электронная микрофотография поверхности растянутой каучуковой пленки с золотым покрытием и карта рельефа участка океанического дна в районе Восточно-Тихоокеанского поднятия [13]. Рельеф типа показан-

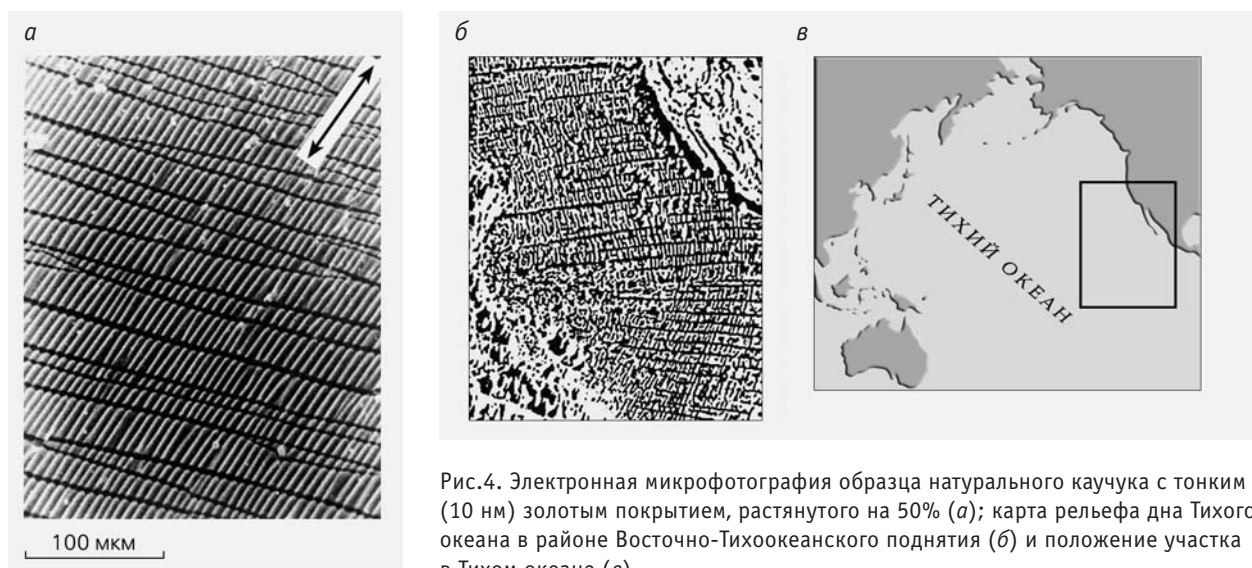


Рис.4. Электронная микрофотография образца натурального каучука с тонким (10 нм) золотым покрытием, растянутого на 50% (а); карта рельефа дна Тихого океана в районе Восточно-Тихоокеанского поднятия (б) и положение участка в Тихом океане (в).

ного на рис.4,б занимает колоссальные пространства на дне, измеряемые многими тысячами километров (не менее трети площади всего Мирового океана). Замечательно, что рельеф океанического дна поразительно напоминает рельеф, получаемый при растяжении полимерных пленок с твердым покрытием [14]. Такое внешнее сходство подтверждает сделанные выше предположения об общности механизма явлений, происходящих в системах «твердое покрытие на податливом основании» самого различного масштаба. Отметим, что происхождение системы регулярно расположенных на дне трещин (трансформных разломов), параллельных друг другу, не имеет сегодня своего объяснения.

Если аналогия между рассматриваемыми объектами верна, то простое наблюдение рельефа поверхности дает ясную и очень важную информацию о направлении сжимающих и растягивающих напряжений, действующих в земной коре. Оценить такого рода напряжения до сих пор не удавалось. Это можно сделать, если предположить, что земная кора — самостоятельный физический объект, т.е. немислимых размеров, но реальное твердое тело. Оно имеет сферическую форму, непостоянный химический состав, дефектность, в нем действует перепад температур и множество других осложняющих факторов, но это сплошное покрытие, покоящееся на относительно мягкой «подстилке». Рассмотрение земной коры как единого объекта, способного воспринимать и передавать механическое напряжение на огромные расстояния (в пределах целых океанов, а может быть, и в глобальном масштабе) [12], позволяет применить развитый в [4—9] подход для оценки важнейших механических показателей земной коры. Понятно, что модуль упругости или прочность куска базальта, которые легко измерить экспериментально в лаборатории,

совершенно не то же самое, что модуль упругости или прочность земной коры в целом. Очевидно, что определить указанные характеристики для земной коры как единого объекта каким-либо другим способом в принципе нереально.

На дне морском

Напомним вкратце современные основополагающие представления о тектонических процессах, протекающих в земной коре и примыкающих к ней оболочках [15]. Около 200 млн лет назад существовавший тогда единственный праматерик Пангея по неизвестным причинам раскололся на несколько частей, которые начали свой дрейф, продолжаясь по настоящее время. Благодаря этому дрейфу возникли все современные материки и океаны. Механизм дрейфа материков, открытие которого стало одним из самых замечательных достижений науки XX в., состоит в следующем. На дне океана возникла и существует по настоящее время система гигантских трещин — срединно-океанических хребтов (СОХ), опоясывающих весь земной шар. Вещество мантии Земли поступает через эти трещины, раздвигая их края, в резуль-

тате чего происходит расширение (спрединг) океанического дна. Материки благодаря этому расширению «едут» на океанической коре, как на ленте транспортера, постепенно удаляясь друг от друга или сближаясь.

Механизм дрейфа материков сформулирован в теории литосферных плит, о чем можно прочесть, например, в сборнике [15]. Тектоническая картина Атлантического океана схематически представлена на рис.5. Срединно-Атлантический хребт разделяет Американскую и Африканскую плиты; поступающее через СОХ вещество мантии раздвигает его берега, в результате чего Африка и Америка удаляются друг от друга со скоростью нескольких сантиметров в год. Расширение дна Атлантического океана должно сопровождаться сжатием океанического дна в другом месте, поскольку размеры Земли не изменяются. Такая убыль площади действительно происходит из-за пододвигания Тихоокеанской плиты под Американский континент (субдукции) [14]. Очевидно, что встречное движение Тихоокеанской и Американской плит приводят к их взаимному сжатию. Поскольку одноосное сжатие покрытия на податливом основании генерирует в нем нормально направленное растягивающее напряже-

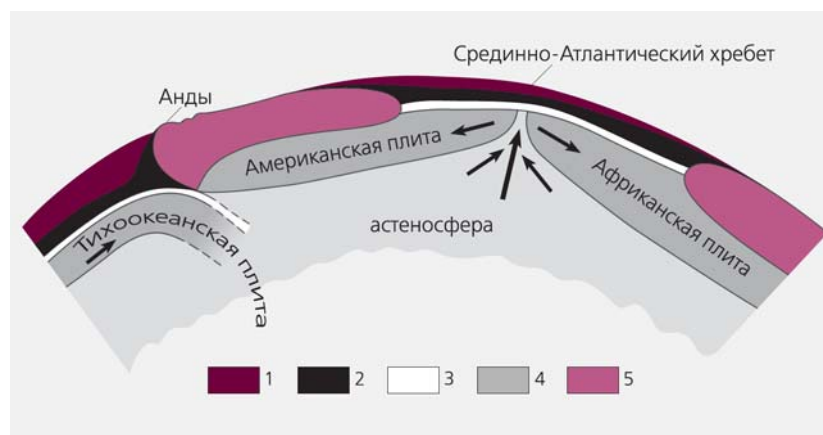


Рис.5. Геодинамическая обстановка в районе Срединно-Атлантического хребта с позиции тектоники литосферных плит [15]. 1 — вода, 2 — осадки, 3 — базальтовая океаническая кора, 4 — верхняя мантия, 5 — континентальная кора).

ние [4–9], можно утверждать, что океаническая кора в Атлантике оказывается сжатой в направлении, нормальном оси СОХ, и соответственно растянутой вдоль хребта. С точки зрения рассматриваемой модели очень важно, что предполагается существование растягивающих напряжений, действующих именно параллельно оси СОХ. Качественно это обстоятельство сразу же позволяет понять, почему трансформные разломы всегда перпендикулярны оси спрединга (СОХ). Дело в том, что трещина разрушения в твердом теле *всегда* растет перпендикулярно оси разрывного (растягивающего) напряжения.

Атлантические расчеты

Попытаемся использовать подходы, развитые в работах [4–9], для оценки важнейших деформационно-прочностных свойств океанической коры, образующей дно Атлантики. Самая характерная особенность рельефа дна в этом районе мирового океана — наличие СОХ, расположенного точно посередине между Африкой и Америкой и повторяющего контуры их берегов (рис.6). Как и во всех других случаях, СОХ имеет систему параллельных трещин (трансформных разломов), пересекающих его практически под прямым углом.

Для оценки прочности океанического дна в окрестности Срединно-Атлантического хребта введем в уравнение (1) $L = 4b(\sigma^*/\sigma_0)$ геодинамические характеристики. Те же буквы здесь будут обозначить: L — среднее значение расстояния между трещинами (трансформными разломами); b — толщину покрытия (океанической коры); σ^* — разрывную прочность покрытия (океанической коры) и σ_0 — напряжение в подложке (рельефообразующее напряжение). Величину L снова можно прямо измерить на карте океанического дна. Для практического исполь-

зования уравнения необходимо знать рельефообразующее напряжение (σ_0) в подкоровом слое верхней мантии Земли.

В настоящее время общепринято считать, что движущей силой спрединга, а значит и дрейфа континентов, служит вязкое конвективное течение вещества верхней мантии Земли (рис.5). Для описания процесса вязкого течения удобно пользоваться универсальным законом Ньютона, который позволяет рассчитать напряжение, поддерживающее течение жидкости (это и есть напряжение в вязком веществе мантии σ_0):

$$\sigma_0 = \eta d\epsilon/dt, \quad (2)$$

где η — вязкость, $d\epsilon/dt$ — скорость деформации. Оценим это напряжение, считая вязкость вещества мантии Земли, прилегающей к литосферной плите, $\eta = 10^{21}$ Па·с [12]. Скорость дрейфа континентов, очевидно, равна скорости вязкого перемещения вещества мантии Земли, примыкающего к литосфере. В связи с этим скоростью течения вещества верхней мантии примем равным надежно определяемой сегодня скорости спрединга (скорости дрейфа материков), которая составляет 10 см/год. Эта скорость, т.е. скорость деформации в уравнении (2), будет равна $d\epsilon/dt = (\Delta l/l_0)/\Delta t$, где l_0 — начальное расстояние между материками (5000 км), Δl — смещение через год (10 см) и Δt — время (1 год). Подставив указанные значения в уравнение (2), получаем $\sigma_0 \approx 0.6$ МПа. Это и есть напряжение, поддерживающее конвективное движение (течение) мантийного вещества или, что то же, рельефообразующее напряжение в земной океанической коре. Оно неожиданно оказалось очень малым; столь малое напряжение в реальной океанической коре экспериментально определить достаточно сложно. Экспериментально в океанической коре обычно оценивают напряжение в местах его кон-

центрации, например в местах изгиба коры — в зонах субдукции. Однако к достаточно высоким локальным напряжениям вполне может приводить найденное с помощью уравнения (2) очень малое, фоновое напряжение, действующее в течение очень длительного времени, возможно, в течение всего времени спрединга.

Тем не менее полученное значение позволяет использовать уравнение (1) для оценки прочности земной океанической коры, если рассматривать ее как единое твердое тело. Для этого возьмем значение толщины земной коры в окрестности СОХ $b = 10$ км [12], среднее расстояние между трансформными разломами $L = 200$ км, которое мы получаем из карты (рис.6), и вычисленное с помощью закона Ньютона тектоническое напряжение $\sigma_0 \approx 0.6$ МПа. Подставив указанные величины в уравнение (1), найдем, что прочность океанической земной коры в местах трансформных разломов составит примерно 3 МПа. Это первая и пока единственная оценка прочности земной коры как целого твердого тела. Отметим, что используемый нами подход дает оценку прочности для твердых тел в очень тонких (нанометровых) слоях неожиданно высокую, в то время как для твердого тела огромных, колоссальных размеров — очень низкую. А может ли земная океаническая кора иметь столь малую прочность?

Ничто не вечно под луной

Необходимо напомнить, что, вообще говоря, прочность твердых тел, хотя и включается в соответствующие справочники, не является их константой, как, например, температура плавления или удельная теплоемкость. Современные представления о прочности твердых тел (кинетическая теория прочности [16]) трактуют их разрушение как некий термофлуктуацион-

есть вероятностный процесс, а там, где действуют вероятностные законы, там вступает в силу важнейший фактор этого процесса — время.

С точки зрения кинетической (вероятностной) теории прочности твердых тел Пизанская башня обречена упасть. Дело во времени. Более того, все земные твердые объекты рано или поздно разрушатся, поскольку составляющие их структуры химические связи непрерывно атакуются тепловым движением и одновременно находятся в поле механических напряжений. Так современная физика вполне строго подтверждает старую житейскую мудрость: ничто не вечно.

Положения кинетической теории прочности твердых тел легко проверить в простых экспериментах. На рис.7 показана зависимость разрушающего напряжения от времени действия нагрузки для трех материалов различной природы: каменной соли (I), поликристаллического

алюминия (II) и капрона (III) [16]. Хорошо видно, что прочность твердого тела, независимо от его химической природы, действительно не является константой материала, а сильнейшим образом зависит от времени действия нагрузки, ее величины и температуры.

Предлагаемый подход к оценке процесса разрушения имеет два важных аспекта. Во-первых, возникает уникальная возможность оценить деформационно-прочностные свойства такого грандиозного тела, как земная кора. Во-вторых, до сих пор удавалось экспериментально оценивать прочность твердых тел в условиях действия постоянной нагрузки в течение относительно малых времен ее воздействия, измеряемых часами, сутками (рис.7). В случае океанической коры реализуется ситуация, когда нахождение твердого тела под нагрузкой измеряется, видимо, миллионами лет.

Количественную связь между прочностью твердых тел, време-

нем действия постоянной нагрузки и температурой устанавливает уравнение, носящее имя замечательного советского ученого академика С.Н.Журкова:

$$\tau = \tau_0 \exp[(U_0 - \gamma\sigma)/RT], \quad (3)$$

где τ — время до разрушения, U_0 — энергия активации процесса разрушения (разрыва химической связи в твердом теле), γ — так называемый активационный объем, который характеризует объем, где разыгрывается элементарный акт процесса разрушения (разрыва связей), τ_0 — частота тепловых колебаний индивидуальных атомов в твердом теле относительно их положений равновесия, σ — действующее постоянное напряжение, R — универсальная газовая константа и T — абсолютная температура. Экспериментальные данные, представленные на рис.7, прекрасно удовлетворяют уравнению Журкова и позволяют найти все его параметры.

Разумеется, определение параметров уравнения Журкова для земной коры пока остается нерешенной задачей. Действительно, в земной коре имеется градиент температуры, градиент давления, градиент химического состава и масса других осложняющих особенностей. Однако если этот объект является единым твердым телом, то в определенных условиях оно может подвергнуться механическому разрушению, имеющему в основе разрыв химических связей, для описания которого можно применить существующие сегодня представления о процессе разрушения твердого тела на молекулярном уровне.

Поскольку в настоящее время не очень ясен физический смысл рассматриваемых параметров применительно к столь сложному объекту, воспользуемся их некими средними значениями. Эти параметры были определены экспериментально (рис.7) для разных твердых тел, таких как металлы, стекла, полимеры и т.д. После подстановки

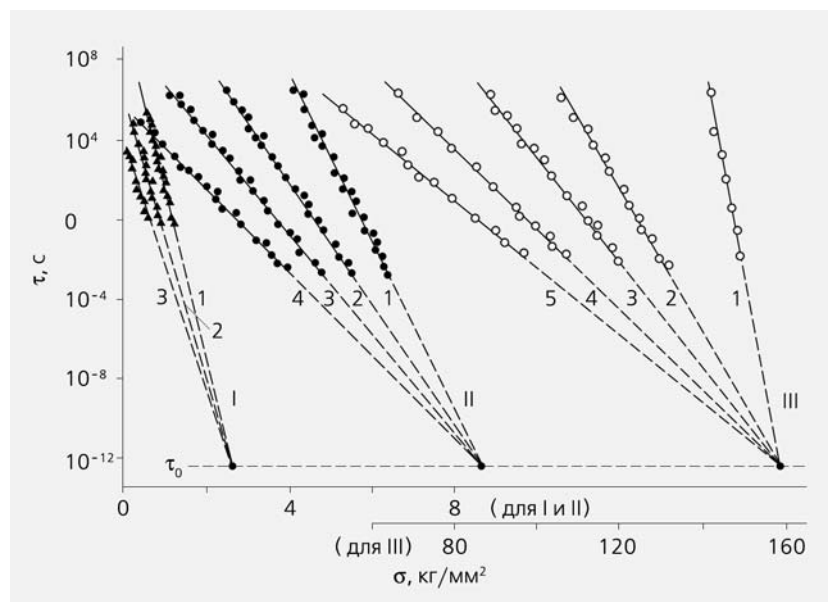


Рис.7. Зависимость долговечности от напряжения при разных температурах [16].

I — каменная соль: 1 — 400; 2 — 500; 3 — 600°C;

II — алюминий (поликристаллический): 1 — 18; 2 — 100; 3 — 200; 4 — 300°C;

III — капрон (ориентированное волокно): 1 — -180; 2 — -120; 3 — -75; 4 — +20; 5 — +80°C.

соответствующих значений в (3) получаем, что время до разрушения земной коры (развития трансформного разлома) при столь маленьком напряжении (3 МПа) составит примерно 30 млн лет. Это огромный срок. Напомним, что все созданные человеком сооружения имеют возраст не более 10 тыс. лет. Тем не менее археологам, как правило, достаются одни лишь руины.

И дело здесь не только в пожарах и войнах, но главным образом в неустанной разрушительной работе теплового движения и действии разных, даже очень малых механических напряжений.

* * *

Отвечая на вынесенный в заголовок вопрос, можно сказать, что зависимость прочности от

размеров твердого тела на самом деле существует. Эта зависимость четко выявляется с помощью развитого в [4–9] универсального метода, позволяющего моделировать и оценивать деформационно-прочностные свойства твердых тел независимо от их размеров в тех случаях, когда их экспериментальное измерение крайне затруднено или практически нереально. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 05-03-32538, 06-03-32452 и 06-03-08025 офи-а).

Литература

1. Головин Ю.И. Нанотехнологическая революция стартовала! // Природа. 2004. №1. С.25–36.
2. Сергеев Г.Б. Нанохимия. М., 2003.
3. Суздаев И.П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М., 2006.
4. Волынский А.Л. Удивительные свойства упаковочной пленки // Природа. 2005. №5. С.67–72.
5. Волынский А.Л., Бакеев Н.Ф. Структурная самоорганизация аморфных полимеров. М., 2005.
6. Волынский А.Л., Баженов С.Л., Бакеев Н.Ф. // Рос. хим. журн. (ЖВХО им.Д.И.Менделеева). 1998. Т.42. №3. С.57–68.
7. Volynskii A.L., Bazhenov S.L., Lebedeva O.V., Bakeev N.F. // J. Mater. Sci. 2000. V.35. P.547–554.
8. Volynskii A.L., Bazhenov S.L., Lebedeva O.V., Ozerin A.N., Bakeev N.F. // J. Appl. Polymer Sci. 1999. V.72. P.1267–1275.
9. Bazhenov S.L., Volynskii A.L., Alexandrov V.M., Bakeev N.F. // J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys. 2002. V.40. P.10–18.
10. Handbook of Chemistry and Physics / Ed. Ch.D.Hodgman. N.Y., 1955. Part 2.
11. Arzt E. // Acta mater. 1998. V.46. №16. P.5611–5626.
12. Короновский Н.В. Общая геология. М., 2002.
13. Heezen B.C., Tharp M. World Ocean Floor. N.Y., 1977.
14. Volynskii A.L., Bazhenov S.L. // Geofisica International. 2001. V.40. №2. P.87–95.
15. Ломизе М.Г. Тектоника литосферных плит // Энциклопедия «Современное естествознание». Т.9. М., 2000. С.103–112.
16. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Е.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М., 1974.

Гидрография

Гидрофизические съемки в Канадской Арктике

По заказам нефтяных компаний Канады гидрограф Дж.Уильямс (J.Williams) третий сезон ведет топографические и гидрографические съемки в Канадской Арктике. Его партия из семи человек, включая опыт-

ного охотника-иннуита, устроила базовый лагерь в тундре, в дельте р.Маккензи, впадающей в море Бофорта. Для производства гидрографических работ Уильямс использовал новейшую эхолокационную систему промеров дна: на катере смонтирована 15-метровая выносная стрела с шестью датчиками-излучателями акустических сигналов. Такая система

позволяет измерять глубины в диапазоне от пяти до менее одного метра, которые преобладают в дельте р.Маккензи и до сих пор не были картированы. На подручных плавсредствах, включая водный мотоцикл (jet-ski), устанавливался однолучевой эхолот, что значительно ускорило и расширило площадь съемок. Проведению гидрографических работ, однако,

Канадская

существенно мешали неблагоприятные погодные условия и частые отmeldы, не отмеченные на картах.

www.swathe-services.com; Hydro International. 2007. V.11. №3. P.13 (Нидерланды).

Метеорология

Шаровая молния — еще один эксперимент

Для объяснения природы шаровой молнии выдвинут целый ряд гипотез, однако ни одна из них не получила признания, поскольку исследователям не удалось воспроизвести это явление в лаборатории. Сейчас Дж.Абрахамсон (J.Abrahamson; Университет Кентербюри, Новая Зеландия) и его бразильские коллеги из Университета г.Пернамбуко после шести лет работы с большим успехом проверили теоретические выкладки на практике.

Между двумя электродами помещали пластины сверхчистого кремния толщиной 0.3 мм и пропускали ток силой 140 А. При раздвижении электродов возникала электрическая дуга, от которой кремний испарялся в виде облака наночастиц, которые конденсировались в шары, раскаленные почти до 2000°C. В отличие от результатов других экспериментов, продолжительность жизни таких шаров составляла десятков секунд, что близко к продолжительности жизни шаровой молнии в природе.

Sciences et Avenir. 2007. №721. P.21 (Франция).

Зоология

Гладыш-пловец

Водный клоп гладыш (*Anisops deanei*) — единственное насекомое, у которого на всех стадиях жизненного цикла име-

ется гемоглобин. Кроме того, от большинства водных насекомых он отличается тем, что ему нет нужды цепляться за подводные объекты, дабы не быть вытолкнутым на поверхность. Австралийские исследователи установили, что способностью свободно плавать *A.deanei* обязан первой своей особенностью.

С помощью гемоглобина гладыш регулирует объем тонкого слоя воздуха, покрывающего его тело в виде серебристой пленки. После погружения насекомого в воду воздушный пузырь начинает быстро «сдуваться», расходуясь на дыхание, но примерно через 4 мин (когда удельные веса гладыша и воды становятся равными) на несколько минут стабилизируется. Оказывается, когда концентрация кислорода в пузыре достигает некоей критической величины, в него начинает поступать O₂ из молекул гемоглобина.

Science et Vie. 2006. №1068. P.25 (Франция).

Археология

Кельтские соляные копи

Около 2700 лет назад в долине р.Сей (бассейн р.Мозель, Франция) кельты разрабатывали соляные копи фактически в промышленных масштабах. Об этом свидетельствуют найденные здесь в большом количестве остатки печей и форм для розлива рассола.

Л.Оливье (L.Olivier; Музей национальных древностей в Сен-Жермен-ан-Лэ, Франция) считает очень интересными находками захоронения целых династий, управлявших производством соли на протяжении веков. Кладбище «капитанов индустрии» протянулось на 800 м, останки датируются IV—I вв. до н.э. Ранее могилы древ-

них кельтских солеваров были обнаружены в районе Хальштатта (Австрия), но там покоятся рабочие.

Площадь лоранских копей около 10 га. Производство соли нуждалось в большом количестве топлива, и это привело к интенсивному уничтожению лесов — следы древних вырубок заметны даже сегодня. Из-за них произошло заиление долины Сей.

Sciences et Avenir. 2007. №718. P.20 (Франция).

Охрана природы

Крупнейший в мире лесной резерват

На севере Бразилии, в штате Пара, создается крупнейший в мире лесной резерват — его площадь 150 тыс. км².

К сегодняшнему дню оказались выжженными леса на 16% общей площади Амазонии. Для борьбы с обезлесением правительство издало декрет, согласно которому на 1/3 территории нового резервата будет полностью запрещена какая-либо сельскохозяйственная деятельность; на оставшихся двух третях ведение сельского хозяйства разрешено, но должно соответствовать нормам долговременного устойчивого развития.

В этой труднодоступной области Амазонии с еще относительно девственной природой биологи насчитали более 600 видов рептилий, 700 — птиц, 195 — млекопитающих. Вместе с уже охраняемыми пограничными зонами в штатах Амазонас и Амапа этот резерват в итоге создаст крупнейший в мире коридор (его длина составит 3 тыс. км) для свободного расселения видов, находящихся на грани уничтожения.

Science et Vie. 2007. №1074. P.29 (Франция).



Центромеры и теломеры хромосом

А.В.Вершинин

Что такое хромосомы, сегодня известно почти каждому. Эти ядерные органеллы, в которых локализуются все гены, и составляют кариотип данного вида. Под микроскопом хромосомы выглядят как однородные, вытянутые темные палочкообразные структуры, и вряд ли увиденная картина покажется интригующим зрелищем. Тем более, что препараты хромосом великого множества живых существ, обитающих на Земле, отличаются разве что числом этих палочек да модификациями их формы. Однако есть два свойства, характерные для хромосом всех видов. Первое — наличие обязательного сжатия (или перетяжки), расположенного или посередине, или смещенного к одному из концов хромосомы, получившего название «центромера». Второе — присутствие на каждом конце хромосомы специализированной структуры — теломеры (рис.1). Различные гены, расположенные вдоль плеч (частей хромосомы от центромеры до физического конца) хромосом, вместе с регуляторными последовательностями ДНК ответственны за выполнение разнообразных функций. Это и обеспечивает уникальность генетической информации, закодированной в каждом плече каждой отдельной хромосомы.

Центромерные и теломерные районы занимают особое



Александр Васильевич Вершинин, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института цитологии и генетики СО РАН. Занимается проблемами молекулярной структуры различных классов повторяющейся ДНК, организацией теломерных и субтеломерных районов хромосом, молекулярной эволюции геномов.

положение, ибо выполняют крайне важные, но одни и те же функции в хромосомах всех видов эукариот. Многочисленные исследования пока не дали ясного ответа на вопрос, какие молекулярные структуры ответственны за выполнение этих функций и как они их осуществляют, но очевидный прогресс в этом направлении в последние годы достигнут.

До выяснения молекулярной структуры центромер и теломер полагали, что их функции должны определяться (кодироваться) универсальными и в то же время специфичными для данных районов последовательностями ДНК. Но прямое определение первичной последовательности нуклеотидов (секвенирование ДНК) осложнялось тем, что эти районы, как правило, соседствуют в хромосомах с участками высокой концентрации повторяющихся последовательностей ДНК. Что сегодня из-

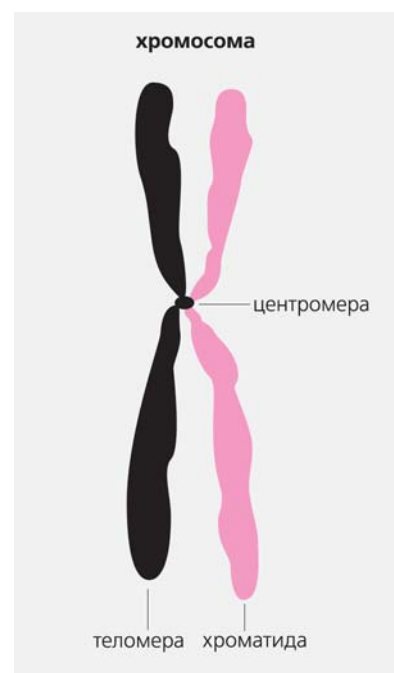


Рис.1. Типичная метафазная хромосома. Каждая хроматида содержит одну из двух идентичных молекул ДНК.

вестно об этих функционально важных районах хромосом?

Центромеры

К середине прошлого столетия многочисленные цитологические исследования показали определяющую роль центромеры в морфологии хромосом. Позднее установили, что центромера вместе с кинетохором (структурой, состоящей в основном из белков) ответственна за правильное расхождение хромосом в дочерние клетки в ходе клеточного деления. Направляющая роль центромеры в этом процессе очевидна: ведь именно к ней прикрепляется веретено деления, которое вместе с клеточными центрами (полюсами) составляет аппарат клеточного деления. Благодаря сокращению нитей веретена хромосомы движутся во время деления к полюсам клетки.

Обычно описывают пять стадий клеточного деления (митоза). Для простоты мы остановимся на трех основных этапах в поведении хромосом делящейся клетки (рис.2). На первом этапе происходит постепенное линейное сжатие и утолщение хромосом, затем образуется веретено деления клетки, состоя-

щее из микротрубочек. На втором хромосомы постепенно продвигаются к центру ядра и выстраиваются вдоль экватора, вероятно, чтобы облегчить присоединение микротрубочек к центромерам. При этом ядерная оболочка исчезает. На последнем этапе половинки хромосом — хроматиды — расходятся. Создается впечатление, что микротрубочки, прикрепленные к центромерам, как буксир, тянут хроматиды к полюсам клетки. С момента расхождения бывшие сестринские хроматиды называются дочерними хромосомами. Они достигают полюсов веретена и собираются вместе в параллельном порядке. Образуется ядерная оболочка.

При тщательном наблюдении можно заметить, что в процессе клеточного деления в каждой хромосоме центромера находится на постоянной позиции. Она поддерживает тесную динамическую связь с клеточным центром (полюсом). Деление центромер происходит одновременно во всех хромосомах.

Разработанные в последние годы методы секвенирования позволили определить первичную структуру ДНК протяженных участков центромер человека, плодовой мухи *Drosophila* и растения *Arabidopsis*. Оказа-

лось, что в хромосомах и человека, и растения центромерная активность связана с блоком tandemно организованных повторов (мономеров) ДНК, близких по размеру (170—180 нуклеотидных пар, нп). Такие участки называют сателлитной ДНК. У многих видов, в том числе и эволюционно далеких друг от друга, размер мономеров почти не отличается: различные виды обезьян — 171 нп, кукуруза — 180 нп, рис — 168 нп, насекомое хирономус — 155 нп. Возможно, это отражает общие требования, необходимые для центромерной функции.

Несмотря на то, что третичная структура центромер человека и арабидопсиса организована одинаково, первичные последовательности нуклеотидов (или порядок нуклеотидов) в их мономерах оказались совершенно разными (рис.3). Это удивительно для района хромосомы, выполняющего столь важную и универсальную функцию. Однако при анализе молекулярной организации центромер у дрозофилы обнаружили определенную структурную закономерность, а именно наличие участков из мономеров примерно одного размера. Так, у дрозофилы центромера X-хромосомы состоит в основном из двух типов очень коротких простых повторов (AATAT и AAGAG), прерываемых ретротранспозонами (мобильными элементами ДНК) и «островками» более сложной ДНК. Все эти элементы нашли в геноме дрозофилы и вне центромер, однако последовательностей ДНК, характерных для каждой центромеры, у них не обнаружили. Значит, сами по себе центромерные последовательности ДНК недостаточны и необязательны для образования центромеры.

Это предположение подтверждается и проявлением центромерной активности за пределами нормальных центромер. Такие нецентромеры ведут себя как обычные центромеры: образуют цитологически

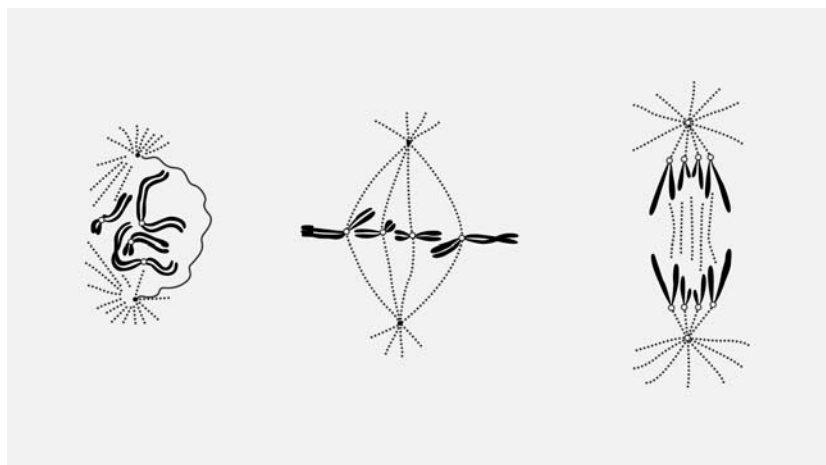


Рис.2. Основные этапы митоза. Слева направо: компактизация хромосом, образование веретена деления; выстраивание хромосом вдоль экватора клетки, прикрепление веретена деления к центромерам; движение хроматид к полюсам клетки.



Рис.3. Структура ДНК в центромерах человека и растения. Прямоугольники соответствуют тандемно организованным мономерам с идентичной последовательностью нуклеотидов внутри (первичная структура ДНК). У разных видов первичная структура ДНК мономеров различается, а вторичная представляет собой спираль. Последовательность мономеров отражает структурную организацию ДНК более высокого уровня.

различимую перетяжку и формируют кинетохор, связывающий белки. Однако анализ ДНК двух нецентромер человека и обычной центромеры общих последовательностей не выявил, что говорит о возможной роли других структурных компонентов хромосомы. Ими могут быть гистоновые и негистоновые белки, которые связываются с ДНК, формируя нуклеосомную структуру хроматина.

Функциональную роль центромерной структуры хроматина подтверждает присутствие специфических для каждого биологического вида вариантов гистона H3 в центромерном хроматине: у человека они названы CENP-A, у растений — CENH3. Среди множества имеющихся в кинетохоре белков только два, CENH3 и центромерный белок C (CENP-C), непосредственно связываются с ДНК. Возможно, именно CENH3, взаимодействуя с другими гистонами (H2A, H2B и H4), формирует и определяет специфический для центромер тип нуклеосом. Такие нуклеосомы могут служить своего рода якорями для образования кинетохора. Варианты гистона H3 в центромерах различных видов подобны канонической молеку-

ле гистона H3 в участках взаимодействия с другими гистоновыми белками (H2A, H2B, H4). Однако участок центромерного гистона H3, взаимодействующий с молекулой ДНК, видимо, находится под действием движущего отбора. Как уже говорилось, первичная структура центромерной ДНК отличается между видами, и было высказано предположение, что центромерный гистон H3 коэволюционирует вместе с центромерной ДНК, в частности у дрозофилы и арабидопсиса [1].

Обнаружение центромерного гистона H3 породило крайнюю точку зрения, согласно которой центромерная функция и ее полная независимость от первичной структуры ДНК определяется нуклеосомной организацией и этим гистонами. Но достаточно ли этих факторов для полноценной активности центромеры? Модели, игнорирующие роль первичной структуры ДНК, должны предполагать случайное распределение изменений в структуре центромерной ДНК в различных популяциях в отсутствие отбора. Однако анализ сателлитной ДНК в центромерах человека и *Arabidopsis* выявил консерва-

тивные районы, так же как и районы с более высокой, чем средняя, вариативностью, что указывает на давление отбора на центромерную ДНК. Кроме того, искусственные центромеры удалось получить только с а-сателлитными повторами человека, амплифицированными из природных центромер, но не из а-сателлитов прицентромерных районов хромосом.

Меньше принципиальных трудностей для объяснения встречаются модели, в которых решающим фактором в определении позиции центромеры (сохраняющейся от поколения к поколению) и ее функций служит третичная (или даже более высокого порядка) структура ДНК. Ее консерватизм допускает большие вариации в последовательности нуклеотидов и не исключает тонкую подстройку первичной структуры.

Хеникофф с коллегами [2] предложили модель, описывающую координированную эволюцию ДНК и белков и приводящую к появлению оптимально функционирующих центромер на примере деления женских половых клеток. Как известно, в процессе мейоза одна родительская клетка посредством

следующих друг за другом двух делений дает начало четырем дочерним клеткам. Впоследствии только одна из них превращается в зрелую женскую половую клетку (гамету), передающую генетическую информацию следующему поколению, тогда как три других клетки отмирают. Согласно этой модели, в процессе эволюции вследствие мутаций и других механизмов в хромосомах могут возникать центромеры с более протяженными тяжами мономеров сателлитной ДНК или с первичной структурой нуклеотидов, более способствующей связыванию и координированной работе со специфическими формами гистонов CENH3 и CENP-C. При этом у одних организмов (арабидопсис, дрозофила) доказательства для положительного давления отбора получены для CENH3, тогда как для других видов (злаки, млекопитающие) для CENP-C (рис.4,а). В итоге такие центро-

меры с усовершенствованным кинетохором становятся «сильнее» и могут присоединять большее число микротрубочек веретена деления (рис.4,б). Если таких «сильных» центромер оказывается в гаметах больше, то происходит процесс мейотического драйва, который увеличивает количество таких центромер, и новый вариант фиксируется в популяции.

Понять механизмы формирования и активности центромерных районов хромосом помогает сравнительная геномика. Уникальный пример разнообразия структуры центромер — хромосома 8 в геноме риса. В ней наряду с сателлитным повтором ДНК и ретротранспозонами обнаружены активно транскрибируемые гены; 48 из них имели последовательности с высокой гомологией к известным белкам [3]. Эти находки опровергают сложившееся на основе изучения центромер чело-

века, дрозофилы и арабидопсиса мнение, что в центромерах нет активно работающих генов.

Если в молекулярной структуре центромер различных видов эукариот присутствуют некоторые универсальные характеристики (организация ДНК в виде тандемных, относительно коротких мономеров и специфические для данных локусов белки хроматина), то в размерах этих районов трудно выявить какие-либо закономерности. Так, у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* за минимальную функциональную центромеру принимают участок ДНК в 125 нп, а у дрожжей *Schizosaccharomyces pombe* она значительно сложнее и длиннее (от 40 до 120 тыс. нп), имеет несколько уровней организации. У человека основной компонент центромер хромосом — а-сателлитная ДНК — образует длинные тяжи тандемно организованных мономеров (от 250 тыс. до 4 млн нп). Среди 12 хромосом риса в хромосоме 8 длина тяжа с сателлитом CentO наименьшая (~64 тыс. нп); в ней определили позицию центромеры и ее примерный размер в 2 млн нп [3]. Удалось получить полную последовательность ДНК этого центромерного района и внутри него определить участок (~750 тыс. нп), где непосредственно формируется кинетохор. В этом районе находится основной кластер CentO.

Удивительная пластичность центромер, в частности активно работающие гены, обнаруженные в центромере хромосомы 8 риса, предполагает отсутствие строгой границы между центромерой и остальной частью хромосомы и даже возможность рассеянной структуры центромерного хроматина. Однако против существования нескольких кластеров в районе хромосомной перетяжки говорят недавно опубликованные данные о наличии хроматинового барьера между собственно центромерой и прицентромерным гетерохроматином у дрожжей

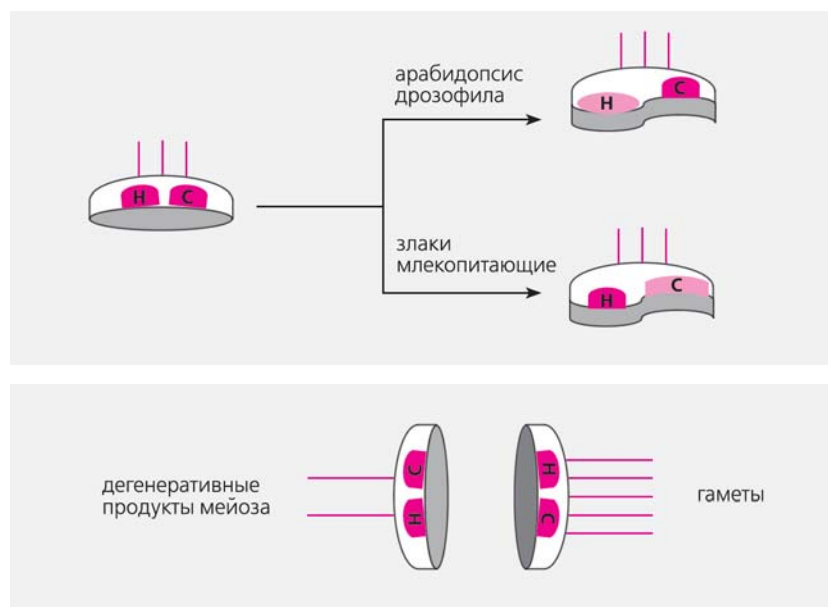


Рис.4. Модель, объясняющая эволюцию центромер. Вверху — центромеры (серые овалы) содержат специализированный набор белков (кинетохор), включающий гистоны CENH3 (H) и CENP-C (C), которые в свою очередь взаимодействуют с микротрубочками веретена деления (красные линии). В различных таксонах один из этих белков эволюционирует адаптивно и согласованно с дивергенцией первичной структуры ДНК центромер. Внизу — изменения в первичной структуре или организации центромерной ДНК (темно-серый овал) может создавать более сильные центромеры, что выражается в большем количестве присоединяемых микротрубочек.

Schizosaccharomyces pombe [4]. Барьер представляет собой ген тРНК аланина. Делеция или модификация барьерной последовательности ведет к выходу прицентромерного гетерохроматина за свои обычные границы. Более того, отсутствие барьера вызывает ненормальное расхождение хромосом в мейозе. Безусловно, следует помнить, что эти интереснейшие результаты касаются пока только одного вида дрожжей.

Теломеры

Термин «теломера» предложил Г.Мёллер еще в 1932 г. [5]. В его представлении она означала не только физический конец хромосомы, но и присутствие «терминального гена со специальной функцией запечатывания (пломбирования) хромосомы», которое делало ее недоступной для вредных воздействий (хромосомных перестроек, делеций, действия нуклеаз и т.д.). Наличие терминального гена не подтвердилось в последующих исследованиях, однако функция теломеры была определена точно.

Позднее выявили еще одну функцию. Так как на концах хромосом обычный механизм репликации не работает, в клетке есть другой путь, поддерживающий стабильные размеры хромосом при клеточном делении. Эту роль выполняет специальный фермент, теломераза, которая действует подобно другому ферменту, обратной транскриптазе: использует одноцепочечную РНК-матрицу для синтеза второй цепи и восстановления концов хромосом. Таким образом, теломеры во всех организмах выполняют две важные задачи: защищают концы хромосом и поддерживают их длину и целостность.

Первые работы по определению природы ДНК теломер выявили тандемную организацию коротких мономеров у широкого спектра организмов (про-

стейших, грибов, насекомых, растений и млекопитающих [6]), что вполне соответствовало универсальному характеру функций теломеры. Еще одна консервативная особенность теломерной ДНК — наличие относительно короткого одноцепочечного «хвоста», состоящего из G-остатков с ориентацией 5'-3' G-богатой цепи вперед к концу хромосомы. Считают, что такой выступ обеспечивает связывание теломер-специфических белков, образующих «колпак» (cap) для защиты конца хромосомы.

Однако по мере расширения изучаемых видов оказалось, что существуют альтернативные пути удлинения концов хромосом и их защита не зависит от короткого канонического повтора. Например, у *Drosophila melanogaster* ДНК теломер состоит из тандемных тяжей, образовавшихся в результате последовательных транспозиций ретро-транспозонов, а одноцепочечных G-выступов пока не обнаружено. Несмотря на столь существенные различия в природе ДНК двух типов теломер, они имеют много общего. Например, и те, и другие поддерживают свою длину с помощью обратной транскрипции с РНК-матрицы и могут использовать для этой цели рекомбинацию (обмен генетическим материалом).

Список организмов, теломеры которых не имеют консенсусной последовательности, продолжает расширяться и сегодня включает некоторые виды из четырех отрядов насекомых: Diptera, Coleoptera, Heteroptera и Dermoptera. У комаров (Diptera) отмечен третий тип теломер: их ДНК представлена длинным тяжем регулярного тандемного повтора длиной 340 нп. Вероятно, здесь размеры поддерживаются подобно уже описанному механизму для первых двух типов, т.е. регенерация сложных повторов может происходить с помощью рекомбинации или опять-таки обратной транскрипцией РНК, продуци-

руемой с теломеры. Среди растений также описаны виды родов луковых и алое, не имеющих консенсусного теломерного повтора, TTTAGGG. Таким образом, подобно рассмотренным выше центромерам, теломеры выполняют исключительно важные и консервативные функции и имеют удивительно пластичную структурную организацию ДНК.

Как и у центромер, для разных видов размеры теломер и их частей сильно отличаются. У более чем 80% хромосом человека G-выступы имеют длину более 200 нп, тогда как у некоторых хромосом видов растений *Silene latifolia* и *Arabidopsis thaliana* они могут вообще отсутствовать. Этот факт вызывает некоторые сомнения в необходимости G-выступов для выполнения теломерных функций. Размер другого субдомена теломеры — участка двухцепочечной ДНК теломерного повтора — варьирует в еще большей степени между видами, колеблясь от 20 нп у *Oxytricha* до более чем 100 тыс. нп у лабораторных линий мышей, табака, пшеницы [6]. Мы сравнили размеры теломер у некоторых видов злаков — пшеницы, ячменя и ржи, принадлежащих к эволюционно близким родам одной трибы Triticeae. Существенные различия в размерах обнаружены между короткими теломерами ржи (8–50 тыс. нп) и длинными теломерами пшеницы (до 175 тыс. нп).

Согласно многим исследованиям, размер теломеры может колебаться при стрессовых воздействиях, укорачиваться при старении и онкогенезе. Вместе с тем другие работы демонстрируют относительное постоянство размеров теломеры у каждого конкретного вида, что указывает на функционирование регуляторного механизма, контролирующего теломеразу так, чтобы ее активность ограничивалась только компенсацией репликационных потерь теломерной ДНК. Следует отметить, что все приведенные количест-

венные оценки носят относительный характер. Несмотря на это, можно определенно утверждать, что размеры теломер и центромер как среди различных видов эукариот, даже эволюционно близких, так и между различными хромосомами од-

ного кариотипа характеризуются высокой гетерогенностью. В связи с этим возникает вопрос, а существует ли четкая, обусловленная различиями в молекулярной структуре граница, отделяющая эти районы от остальной хромосомы?

Анализ имеющихся данных показывает, что в случае теломер о существовании такой границы говорить трудно, если вообще возможно. Неясно, что считать настоящей (истинной) теломерой. Наиболее популярная точка зрения рассматривает в качестве теломеры весь тяж последовательности ДНК теломерного повтора вместе с многочисленными белками, связывающимися как с одно-, так и с двухцепочечной ДНК. Однако у многих видов эукариот (особенно если геномы большого размера) переход между тяжом теломерного повтора и субтеломерой характеризуется появлением мономеров с вырожденной структурой классического повтора и заканчивается копиями дегенеративных повторов с более чем одной нуклеотидной заменой. Более того, сам тяж теломерного повтора представляет собой отнюдь не такую гомогенную структуру, как было принято думать.

Мы с помощью флуоресцентной *in situ* гибридизации теломерного повтора на фибриллах ДНК показали, что наряду с гомогенными флуоресцирующими треками сигнала гибридизации присутствуют треки с разрывами, в которых, вероятно, помимо теломерного повтора находятся другие типы последовательностей ДНК (рис.5). Мы также обнаружили фибриллы с рассеянными одиночными сигналами теломерного повтора. Таким образом, теломерные повторы не всегда организованы как монотонные гомогенные тяжи мономеров. Они могут прерываться другими последовательностями ДНК и рассеиваться в виде коротких кластеров. Такая гетерогенная организация может приводить к завышенным количественным оценкам длины теломер и, кроме того, к неадекватной оценке участия соседних последовательностей в вариации размеров теломер.

Теломерные повторы могут располагаться вдоль плеч в интерстициальных и даже в при-

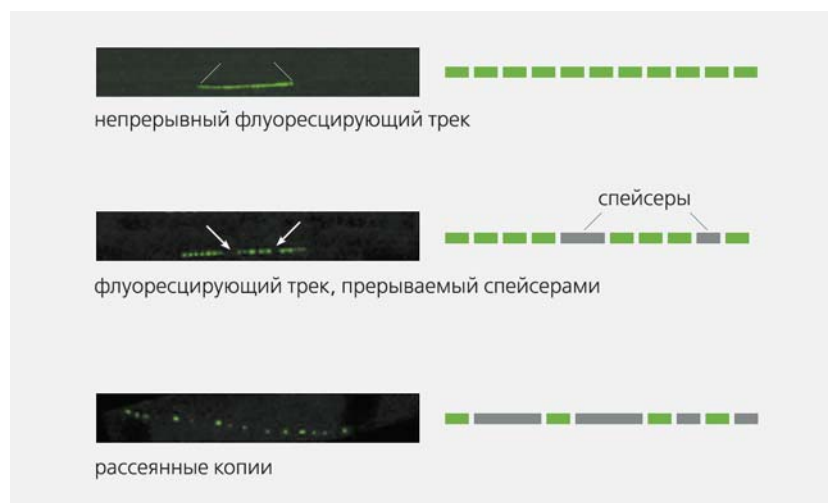


Рис.5. Гибридизация пробы ДНК на растянутых фибриллах ржи. Различные типы организации теломерного повтора: монотонные треки (вверху) и треки с разрывами (спейсерами) различных размеров (в середине и внизу).

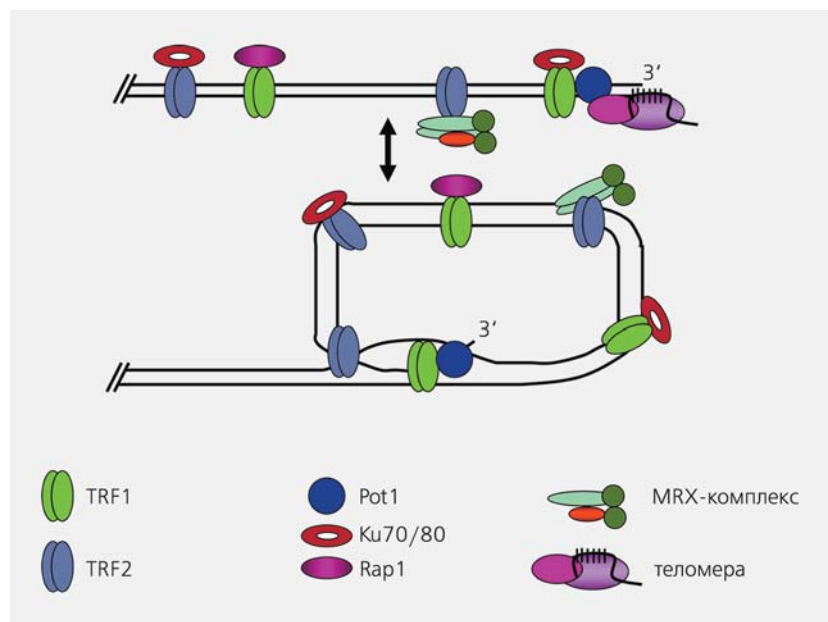


Рис.6. Модель образования t-петлевой структуры на конце хромосомы. Вверху — теломера в момент репликации хромосомы, когда ее конец доступен для комплекса теломеразы, который осуществляет репликацию (удвоение цепи ДНК на самом кончике хромосомы). После репликации теломерная ДНК (черные линии) вместе с находящимися на ней белками (показаны разноцветными овалами) образует t-петлю (нижняя часть рисунка).

центромерных районах хромосом, но сами по себе не образуют функциональную теломеру. Вполне логично думать, что для ее формирования необходимы специализированные белки, обволакивающие теломерную ДНК и защищающие концы хромосомы от нежелательных воздействий. Теломерную ДНК можно рассматривать как платформу для сборки больших комплексов белков, ключевой среди которых — комплекс теломеразы. Кроме того, в реализации ее функций участвуют другие системы: ДНК-белковый комплекс, формирующийся на одноцепочечном G-выступе, и белковые комплексы на двухцепочечной ДНК теломерного повтора. Некоторые белки специфически локализованы на теломерах, но основная их часть присутствует и в других участках хромосом.

Предложена модель белкового комплекса из шести теломерспецифических белков, формирующегося на теломерах хромосом человека [7]. ДНК образует t-петлю, а одноцепочечный выступ внедряется в двухцепочечный участок ДНК, расположенный дистально (рис.6). Белковый комплекс позволяет клеткам отличать теломеры от мест разрыва хромосом (ДНК). Не все

белки теломер входят в состав комплекса, который избыточен на теломерах, но отсутствует в других районах хромосом. Защитные свойства комплекса вытекают из его способности воздействовать на структуру теломерной ДНК по крайней мере тремя способами: определять структуру самого кончика теломеры; участвовать в образовании t-петли; контролировать синтез теломерной ДНК теломеразой. Родственные комплексы найдены и на теломерах некоторых других видов эукариот.

Простые последовательности ДНК — сложные функции

Итак, у подавляющего большинства организмов основной тип последовательностей ДНК в центромерных и теломерных районах — это тандемно организованные мономеры короткой длины. Очевидно, что столь короткие последовательности (особенно в теломерах) обладают крайне ограниченной кодирующей способностью в первичной структуре и не соответствуют концепции Мёллера о терминальном гене [5].

В последние годы стало очевидным, что универсальных по-

следовательностей ДНК, непосредственно определяющих функции центромер и теломер, нет. В этих районах хромосом ДНК служит платформой для сборки сложных, многокомпонентных ДНК-белковых комплексов, которые и обеспечивают выполнение этих функций. Более подробно о комплементарной организации этих комплексов и их координированного функционирования можно прочитать в нашем обзоре [2]. Наряду со специфическими для центромер и теломер компонентами этих комплексов в их состав входят и такие, которые участвуют в выполнении нескольких функций, иногда даже противоположных. Например, Ku70/80-гетеродимер входит в состав теломер и работает как позитивный регулятор длины теломер у дрожжей и негативный регулятор — у растения арабидопсис. В тоже время этот белок участвует в распознавании разрывов хромосом и их восстановлении. Без сомнения, одно из наиболее актуальных направлений исследований — выявление молекулярной природы механизмов регуляции разнообразных молекулярных комплексов, обеспечивающих активность центромер и теломер. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 04-04-48813), INTAS (03-51-5908) и Программы интеграционных проектов СО РАН (проект 45/2).

Литература

1. Talbert P.B., Bryson T.D., Henikoff S. // J. Biol. 2004. V.3. Article 18.
2. Вершинин А.В. // Генетика. 2006. V.42. P.1200—1214.
3. Wu J., Yamagata H., Hayashi-Tsugane M. et al. // Plant Cell. 2004. V.16. P.967—976.
4. Scott K.C., Merrett S.L., Willard H.F. // Curr. Biol. 2006. V.16. P.119—129.
5. Muller H.J. Further studies on the nature and causes of gene mutations // Proc. Sixth Int. Congr. Genet. 1932. V.1. P.213—255.
6. Louis E.J., Versbinin A.V. // BioEssays. 2005. V.27. P.685—697.
7. Lange T.de // Genes Dev. 2005. V.19. P.2100—2110.

Вода под водой

О.А.Каримова, И.С.Зекцер

Вода под водой... Такое название выбрано не только для того, чтобы заинтриговать непосвященного читателя. Предмет нашего разговора — субмаринные (или в более широком смысле субаквальные, т.е. «подводные») воды, распространенные под морями, океанами и крупными озерами.

К необходимости изучения субмаринных подземных вод и подземного водообмена суши и моря пришли почти одновременно и независимо друг от друга гидрологи и гидрогеологи.

В последние годы во многих районах земного шара отмечается дефицит водных ресурсов. В приморских районах недостаток в пресной воде хорошего качества в ряде случаев можно значительно уменьшить или даже полностью покрыть за счет использования подземных вод, «бесполезно» стекающих в море. В некоторых странах уже имеется положительный опыт использования вод крупных субмаринных источников, разгружающихся в море недалеко от берега, а также опыт эксплуатации скважин, пробуренных на шельфе и вскрывших пресные подземные воды для снабжения приморских населенных пунктов.

Мы привели лишь наиболее известные и, следовательно, наиболее изученные примеры выхода субмаринных вод, с тем чтобы читатель получил представление о масштабах этого пока слабоизученного явления.

Термин «субмаринные источники» используется для опи-



Игорь Семенович Зекцер, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией региональных гидрогеологических проблем Института водных проблем РАН. Область научных интересов — подземный сток и ресурсы подземных вод, подземный водообмен суши и моря.



Ольга Алиевна Каримова, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Круг научных интересов охватывает вопросы охраны подземных вод от загрязнений и оценку естественных ресурсов.

сания источников, разгрузка которых происходит ниже уровня моря в шельфовой зоне. Обнаружить их можно по характерному вскипанию воды на поверхности моря. Роль их бывает настолько велика, что они могут уменьшать соленость морской воды. Как отмечал Р.А.Коххут [1], «субмаринные источники, этот чудный феномен природы, является до сих пор мало изученным процессом береговой гидрологии во всем мире».

Субмаринные источники привлекали внимание людей с давних времен. Более 2000 лет назад финикийцы построили

коллекторную систему от субмаринного источника, который обеспечивал пресной водой г.Амрит. Древнеримский философ и поэт Лукреций в I в. до н.э. в работе «О природе вещей» описывал «вскипание» воды на поверхности моря, а Плиний отмечал существование значительного числа субмаринных источников у берегов Турции, Сирии и южного побережья Испании (залив Кадис).

Несмотря на то, что о существовании «подводных» источников было известно давно, их детальное изучение началось только в XX в.



Пример проявления субмаринной разгрузки подземных вод на поверхности моря [2].



Использование субмаринных источников более 2000 лет назад [4].

Где и как формируются субмаринные источники?

В некоторых районах со сравнительно невысоко поднятыми областями питания на подводных склонах функционирует большое число субмаринных источников, в том числе высокодебитных [5]. К ним относится п-ов Флорида, гипсометрические отметки которого не превышают 100 м. Активная субмаринная разгрузка здесь обеспечивается повсеместным развитием закарстованных известняков, большим количеством осадков (1200—1400 мм/год) и равнинным рельефом с обширными заболоченными участками, практически исключая поверхностный сток.

Аналогичные условия разгрузки наблюдаются на п-ове Юкатан, представляющем собой низменную равнину, и только на юго-востоке небольшой участок занимают горы Майя. Площадь распространения известняков составляет около 100 тыс. км² при общей площади полуострова 180 тыс. км² и длине береговой линии 1000 км. На прибреж-

ных песчаных островах пресная вода залегает в виде линз на соленой морской воде.

По данным американских специалистов, практически на всем восточном побережье США происходит подземный сток в Атлантический океан и Мексиканский залив. Только в одном месте о. Лонг-Айленд (штат Нью-Йорк) подземный сток в океан оценивается в 25 млн м³/год (немного меньше 1 м³/с). В этой части шельфа на расстоянии 37 км от берега (напротив устья р. Делавер) скважиной вскрыты подземные воды, обладающие значительным напором.

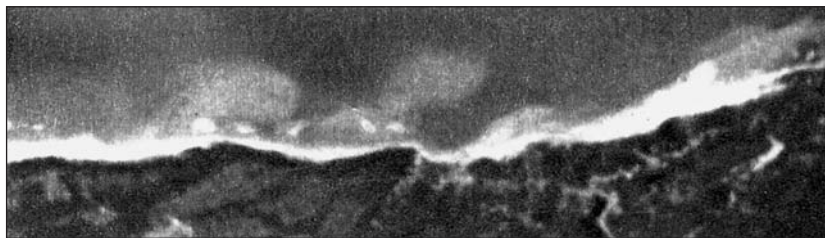
В 1966 г. с помощью батискафа на плато Блейк в 200 км от берега на глубине 510 м (южнее Саванны) была обнаружена 50-метровая депрессия на дне моря, заполненная водой с температурой на 2.5°C ниже температуры окружающей морской воды. Эта аномалия связана с разгрузкой подземных вод.

Большое развитие субмаринных источники получили на подводных склонах островных систем с ярко выраженным горным рельефом (Гавайские, Филиппинские, Большие Антильские о-ва, Большой Зондский и Малый Зондский архипелаги).

Один из наиболее крупных в мире подобных источников расположен у берегов о. Ямайка на расстоянии 1600 м от берега. Он «пробивается» к поверхности моря с глубины 256 м и представляет собой целую пресноводную реку с расходом 43 м³/с.

Богато подводными выходами подземных вод Средиземное море, где субмаринные источники связаны с трещинами и карстовыми каналами в горных породах. В Эгейском море вблизи юго-восточного побережья Греции обнаружен источник пресной воды с большим расходом, а у берегов Адриатического моря их насчитывается около 700.

В Средиземном море известны источники на значительных глубинах: у г. Канны — на глубине 165 м, в Сан-Ремо — 190 м, в за-



Аэрофотоснимок южного берега о.Ямайки. Светлые участки овальной формы — субмаринные выходы подземных вод.

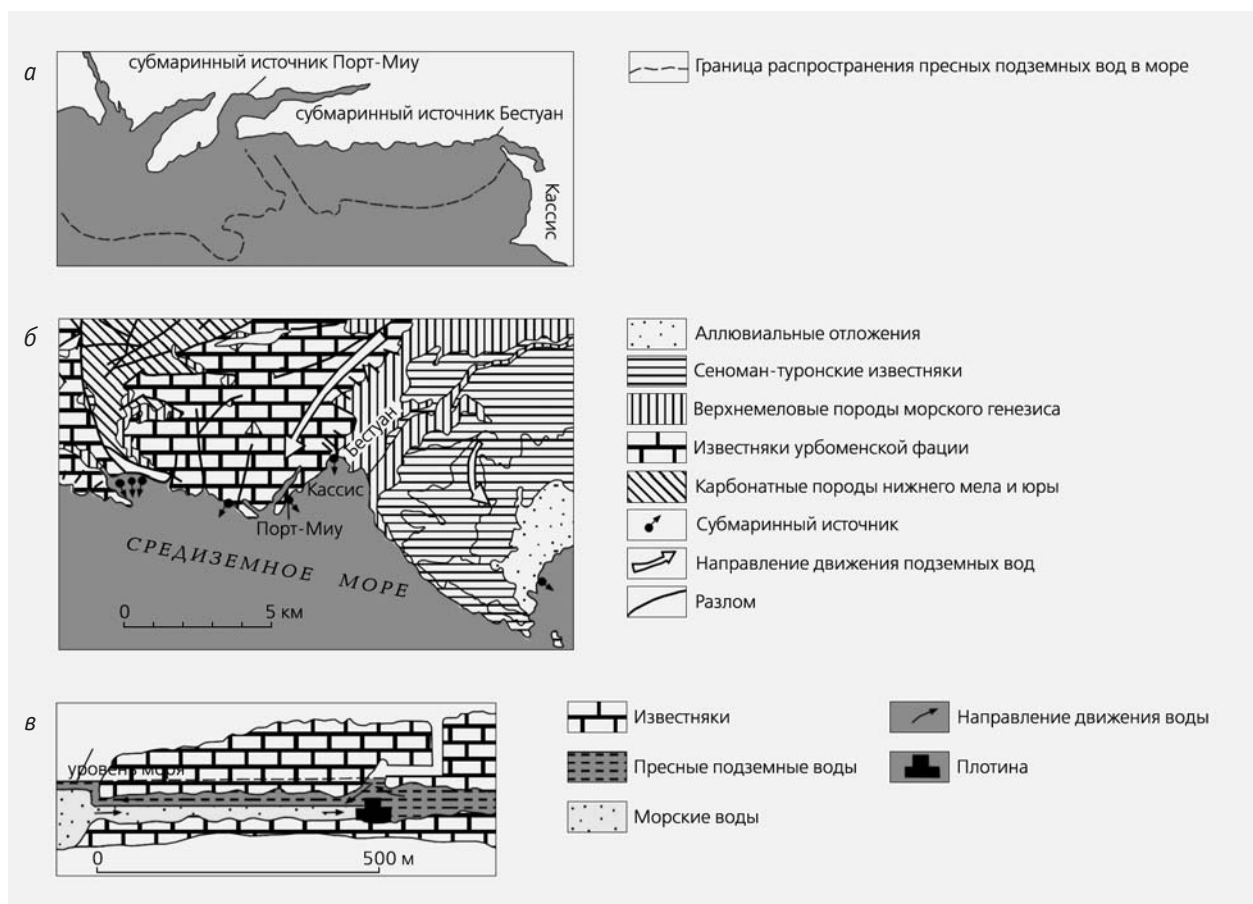
ливе Святого Мартина — 700 м. Вблизи северо-западного побережья о.Сицилия установлены источники, связанные с толщей доломитов и доломитизированных известняков.

Выходы субмаринных источников нередко столь значительны, что образуют целые пресноводные потоки. Такой поток среди соленых вод обнаружен

в устье р.Роны. Подобная пресноводная «река» течет и в Генуэзском заливе.

Наиболее детальные исследования субмаринных источников выполнены у южного побережья Франции, между городами Марсель и Кассис. Еще в 1964 г. Бюро геологических и горных исследований и Водное общество Марселя создали

специальную научно-исследовательскую организацию для изучения наиболее крупных источников Порт-Миу и Бестуан и выяснения возможности их эксплуатации. Эти субмаринные источники приурочены к закарстованным известнякам мелового возраста, которые образуют моноклинал, наклоненную в сторону моря. Аквалангисты, исследовавшие карстовые галереи Порт-Миу, достигли глубины 45 м и по каналам проникли в глубь материка на расстояние более 1 км. Здесь были установлены измерительные пункты, оборудованные датчиками скорости течения, манометрами, резистивиметрами, отобраны пробы воды и грунта, проведены опыты с красящим веществом (флуорисценом), позволившие опре-



Разгрузка подземных вод в Средиземное море вблизи г.Кассис (Франция): а — инфракрасный тепловой снимок района субмаринных источников Порт-Миу и Бестуан; б — схематическая гидрогеологическая карта района; в — схема карстовой галереи на выходе источника Порт-Миу.

делить направление и скорость движения фильтрационного потока, выполнены геофизические эксперименты. В карстовых полостях происходит расслоение водной массы: на более низких отметках залегает соленая морская вода, сверху — пресная подземная, обладающая меньшим удельным весом. Скорость продвижения соленой морской воды в глубь галереи обратно пропорциональна величине напоров разгружающихся пресных подземных вод. Величина этого напора, в свою очередь, определяет расход потока пресных субмаринных вод, который движется в сторону моря по поверхности более плотных морских вод. На равновесие между пресной и соленой водой влияют напорный градиент пресного потока и колебание уровня моря, соотношение плотностей пресной и соленой воды и разность их температур, способствующие процессам диффузии.

Полученные результаты исследований использовались при проектировании и строительстве бетонной плотины на пути проникновения морской воды в глубь материка через главную карстовую галерею. Плотина, построенная в самой глубокой части карстовой галереи (примерно в 500 м от ее выхода в море), позволила осуществлять постоянные измерения скорости потока разгружающихся подземных вод, следить за потерями напора вдоль карстовой галереи, предотвращать внедрение морских вод и выявлять оптимальные условия эксплуатации пресных подземных вод для водоснабжения населения.

В бывшем Советском Союзе субмаринные источники хорошо известны на Кавказском шельфе Черного моря. У пос. Ган-тиади на фоне синей морской воды контрастно выделяется светлое пятно, а многочисленные быстро лопающиеся пузырьки создают обманчивое впечатление кипящей воды. Так проявляется субмаринный ис-

точник пресной воды с дебитом около $0.3 \text{ м}^3/\text{с}$. Более крупный участок «кипящей» морской воды хорошо виден с берега при спокойном море в районе Гагры, его дебит — $8 \text{ м}^3/\text{с}$.

Подобные «бугры вскипания» расположены на расстоянии 100—150 м от берега. Это проявления на поверхности моря пресных карстовых источников с местным названием «репруа», расположенных на глубинах 5—10 м.

Источники, вызванные разгрузкой трещинно-жильных вод, приурочены обычно к системам крупных тектонических нарушений в изверженных и метаморфических породах. Они выходят как на суше, так и в прибрежной части моря. В Крыму, на северо-западном склоне горы Аюдаг, обнаружены три источника, расположенные на глубине 6 и 8 м.

А.И.Коротков с соавторами [5] описывают гидрогеологические условия разгрузки подземных вод на островах Бахрейна в Персидском заливе. В прибрежной зоне островов выходит большое количество субмаринных источников с солоноватой водой (общая минерализация около 4 г/л), область питания которых находится на материке в районе Саудовской Аравии. По мнению исследователей, подземные воды проделывают путь более 100 км под морским дном, сохраняя достаточный напор для разгрузки в виде источников.

Несколько лет назад в одной из российских газет были опубликованы путевые заметки о государстве Бахрейн, где, в частности, говорилось и о субмаринных источниках: «Свежая пресная вода на бахрейнских самбуках всегда в изобилии. Подводные ключи, бьющие в районе промыслов, позволяют пополнять ее запасы в любое время. Кое-где даже встречаются «освоенные» источники с введенными на поверхность залива резиновыми шлангами с поплавками: подплывай и бес-

платно заполняй порожние баки! Не случайно возникло и само название архипелага Бахрейн, что в переводе означает «два моря» — соленое море вокруг и море пресной воды, ключами бьющее со дна».

Многочисленные субмаринные источники связаны с подземными каньонами, нередко представляющими собой подводное продолжение устья рек. От устья р. Ганг в Бенгальский залив протянулся подводный каньон длиной более 1600 км, шириной около 700 км и глубиной более 70 м, в котором найдены выходы субмаринных подземных вод.

Известны случаи, когда субмаринные воды служили не только источниками водоснабжения, но и источниками загрязнения. Так, значительно уменьшилась колония кораллов у берегов Австралии. Проведя ряд исследований, австралийские ученые пришли к выводу, что этот феномен был вызван в первую очередь тем, что с пресными водами поступали загрязняющие вещества, пагубно влияющие на жизнедеятельность коралловых рифов.

Эксплуатация субмаринных источников

Использование подземных вод субмаринных источников для водоснабжения известно с глубокой древности. Много веков назад люди с помощью различных приспособлений, в частности длинных бамбуковых трубок, получали пресную питьевую воду из крупных субмаринных источников, а также направляли ее корабли.

Сейчас количественная оценка субмаринного подземного стока позволяет дополнить ресурсы водоснабжения. Пример практического использования субмаринных вод — сооружение плотины в море вблизи юго-восточного побережья Греции. В результате было создано пресноводное озеро вну-

три моря. Суммарный дебит субмаринных источников здесь превышает 1 млн м³/сут. Воды этого «озера» используют для орошения земель прибрежных территорий.

Нередко высказываются суждения о высоких возможностях использования субмаринных подземных вод и об их неисчерпаемых ресурсах. Однако использовать такие воды непосредственно в море весьма непросто. Прежде всего это определяется сложностью каптирования выходов субмаринных источников на дне и экономической целесообразностью сооружения такого каптажа.

В ряде стран разрабатываются современные технические способы и средства для добычи «воды под водой». В Японии получен патент на способ отбора пресной воды из субмаринного источника. Авторы патента предлагают разделять пресную и морскую воду непосредственно на дне моря. Над источником ставится полностью автоматизированная установка с датчиками, непрерывно измеряющими солевой состав воды. Если соленость превышает допустимую величину, подача воды к потребителю автоматически прекращается и вода сбрасывается в море до тех пор, пока ее соленость и состав не нормализуются.

Итальянские специалисты предложили для отбора вод субмаринных источников использовать специальный колокол,

который устанавливается на дне моря, накрывая источник. Колокол оборудован предохранительными клапанами, контролирующими расход воды и при необходимости ее состав.

Большие перспективы в области использования субмаринных подземных вод морскими водозаборами открываются в связи со значительным развитием технических средств бурения и опробования скважин на шельфе, материковом склоне и дне морей и океанов. Скважины, пробуренные на шельфе Австралии, вблизи Атлантического побережья США, на континентальном склоне Мексиканского залива и др., вскрыли пресные слабоминерализованные субмаринные воды, обладающие значительным напором. Скважиной, пробуренной с корабля в Атлантическом океане у берегов Флориды, в 43 км к востоку от Джэксонвилла, на глубине 250 м ниже уровня моря вскрыта вода с минерализацией 0.7 г/л. При этом ее напор достигает 9 м над уровнем моря.

Уже существуют компании, которые занимаются разработкой оборудования, необходимого для использования пресных вод субмаринных источников. Так, компания «Nymphaea Water» успешно разрабатывает оборудование для каптирования субмаринных источников. Ее представители утверждают, что данные технологии могут применяться для каптирования около четверти существующих субма-

ринных источников без ущерба для окружающей среды.

Однако выводы о возможностях практического использования субмаринных вод можно делать только после проведения специальных работ по оценке эксплуатационных запасов вод, включая технико-экономическое обоснование целесообразности их использования.

* * *

В заключение отметим, что на данной стадии развития науки с учетом конкретных запросов практики можно сформулировать пять направлений исследований субмаринных вод, в отдельных аспектах достаточно тесно связанных между собой:

— изучение роли подземного стока в общем водном балансе Земли и глобальном круговороте воды;

— оценка влияния подземных вод на формирование водного и солевого балансов морей и крупных озер;

— изучение взаимодействия морских и подземных вод в прибрежных районах;

— изучение областей разгрузки пресных подземных вод в прибрежных зонах морей с целью их использования для водоснабжения;

— изучение влияния подземных вод на формирование месторождений полезных ископаемых на дне морей и океанов и роли субмаринного подземного стока в геологических процессах. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 04-05-65466.

Литература

1. Kobout F.A. Submarine springs, a neglected phenomenon of coastal hydrology: Central Treaty Organization's Symposium on Hydrology and Water Resources Devel. Feb. 5—12, 1966. P.391—413.
2. http://sjr.state.fl.us/programs/plan_monitor/gw_assess/springs/stjohns/crescent_beach.html
3. Pliny. Natural History / Trans. H.Rackham. Harvard, 1967. V.I. P.353.
4. <http://www.nympheawater.com>
5. Коротков А.И., Павлов А.Н., Юровский Ю.Г. Гидрогеология шельфовых областей. Л., 1980.
6. Submarine groundwater discharge. Management implications, measurements and effects. Prepared for International Hydrological Program (IHP) Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) by Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ). IHP-VI. Series on groundwater no. 5 IOC manuals and guides №44.

Древнее цунами на Соловецких островах

А.А.Никонов

В 2004 г. автор опубликовал в журнале «Природа» статью о землетрясениях в Северной Карелии, в которой были использованы данные исторического и литературного характера, и в том числе карело-финский фольклор «Калевала» [1]. Между прочим, в статье упоминалось летописное сообщение о необычном природном явлении на Соловецких о-вах — в 1635 г. морская волна в бухте Благополучия поднялась на несколько метров, вплоть до стен Соловецкого монастыря. По моему предположению, это было неизвестное ранее в этих местах цунами, связанное с сильным землетрясением в материковой части Северной Карелии. За прошедшее после той публикации время вопрос о возможности такого явления в Белом море не поднимался. Выяснилось, однако, что на необычно высокий накат волны в 60-х годах 20-го столетия уже обращал внимание известный геолог Д.В.Наливкин, правда, без ссылки на первоисточник: «В 1635 г. в районе Соловецких островов прошел шторм, в результате которого уровень воды поднялся настолько, что были затоплены нижние этажи монастырских строений. С тех пор такого большого подъема уровня не наблюдалось» [2. С.65]. Совсем недавно появились новые материалы, позволяющие убедиться в том, что на Солов-



Андрей Алексеевич Никонов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН. Область научных интересов — сейсмо-тектоника, палеосейсмичность, природные опасности. Постоянный автор «Природы».

ках в 1635 г. произошло именно цунами.

Летом 2006 г. на островах работала совместная экспедиция Института озероведения РАН и Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН, изучавшая донные отложения на внутренних озерах архипелага. Ее руководитель, Д.А.Субетто, ознакомил меня с полученными результатами и документами, за что я ему очень признателен.

На Большом Соловецком острове у стен монастыря внимание участников экспедиции привлекли подготовленные к укладке внешнего водопровода канавы. Одна, к северу от Успенской (квадратной) башни вдоль западной стены, естественных слоев не вскрыла. Зато другая (длина около 10 м, ширина 3 м, глубина 2 м), заложенная южнее Успенской башни на террасовой площадке высотой 2—2.5 м, преподнесла сюрприз. Оказалось,

что между мусорными (строительными) горизонтами сверху и нормально стратифицированными морскими отложениями внизу выделялся слой, который по ряду признаков позволяет отнести его к осадкам, формирующимся при цунами. Попытаемся, имея фотографии разреза, сделанные в недавней экспедиции, а также другие документы, проследить последовательность событий, которые привели к возникновению необычных для этих мест отложений.

Строение разреза

История прилежащих к монастырю построек известна по древним описям и иконографическим изображениям. По этим материалам можно определить и время вероятного появления слоев в разрезе. Под верхним дерново-почвенным покровом



Изображение Соловецкого монастыря. Из лицевой рукописи второй половины XVII в. (ЦГАДА). На заднем плане Преображенский собор, к крыльцу которого подступила вода в 1635 г.

толщиной 0,1–0,15 м выделяют-ся два верхних строительных (10–15-сантиметровых) горизонта, хорошо заметных по промежуточному слою белесых мусорных супесей, оба насыщены мелкими обломками кирпича и кусками раствора. Местность, где выкопана южная канава, была занята постройками значительно позже, чем осваивалась территория самого монастыря внутри Кремля [3, 4]. На миниатюрах из жития святых Зосимы и Савватия (XVI в.), при всей их условности, можно видеть, что

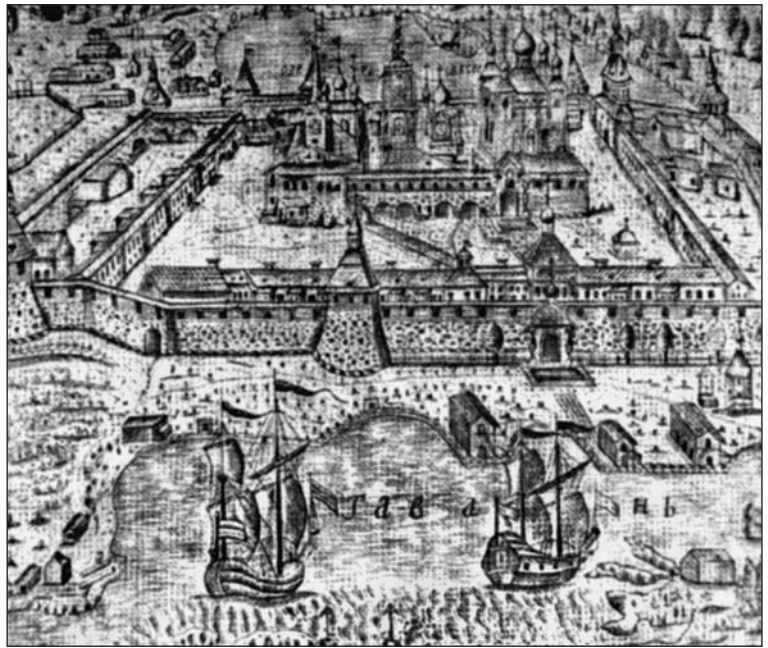
монастырские строения располагались только внутри стен, а последние были очень приближены к кромке моря. Но на гравюре С. Никифорова (1710) ситуация иная — появляется узкая полоса суши вдоль западной стены; у ее центральной части и у Святых ворот мелкими заливами море подходит к стенам, но южнее полоса суши шире, до первых десятков метров, и она уже застроена одноэтажными зданиями хозяйственного назначения, скорее всего, складами. На более поздней гравюре

Л. Зубкова (1772), рисунке конца XVIII в. и гравюре 1837 г. полоса суши перед западной стеной значительно шире и застроена иными, в том числе двухэтажными — сначала деревянными, а затем и кирпичными — гостиницами, и на небольшом южном возвышении стоит каменная (Петровская) часовня. Зная, что в строительных горизонтах содержится немало обломков кирпича и известковых обломков, отметим, что собственное кирпичное производство в монастыре открылось уже в XVI в. Тогда же, судя по некоторым документам, начали привозить на Соловецкие о-ва с восточных берегов Белого моря и известь [5].

При сравнении изображений начала и третьей четверти XVIII в. строительный период определяется примерно серединой века. Именно его следы, по всей вероятности, и остались в нижнем строительном горизонте канавы. На гравюре конца XIX в. вместо всех прежних строений на этом участке изображены две небольшие церкви на открытом месте, сохранившиеся и до сих пор. В начале XIX в. производился ремонт стены. Возможно, его остатки и вскрыты в канаве в виде верхнего строительного горизонта, а нижний можно датировать временем не раньше первой половины — середины предыдущего века.

Значительно сложнее расшифровать происхождение двух горизонтов в середине разреза — сплошного верхнего — белесой супеси (толщиной 2,5, в отдельных карманах до 6–8 см) и подлежащего (развитого местами) темно-серого сулинка. Последний, вскрытый на протяжении около 1,5 м, появляется и утолщается до 10 см в разрезе лишь в северной части канавы. Он сильно (в масштабе горизонта) деформирован — смят и перекручен внутри, хотя нижняя его граница в основном ровная и горизонтальная.

Лишь при детальном рассмотрении в самой верхней «пачке» слоев, подстилающих белесую



Соловецкий кремль с гравюр Л.Зубкова (1772) и С.Никифорова (1710).

супесь, — обычных серых морских суглинков, и здесь местами удастся заметить смятия и прорывы одного тонкого слоя в другой с амплитудой 1–3 см, тогда как ниже по разрезу слои в них протягиваются совершенно ровно. Отмеченные деформации имеют место в «пласте» толщиной 10–12 см (но не захватывают неровно отложившуюся поверх белесую супесь). Они отчетливо распознаются, поскольку в серых суглинках чередуются различающиеся по

цвету и механическому составу тонкие прослойки. Никакого сомнения нет в том, что первоначально слоистость в самой верхней части суглинков здесь, как и во всей нижележащей толще, была горизонтальной. Деформации возникли после окончания накопления серых суглинков, но перед отложением белесых супесей, которые начали заполнять уже образовавшиеся неровности.

Сами эти супеси выделяются не только условиями залегания.

До проведения детальных анализов можно отметить только их необычные макроскопические признаки. Так, необычный белесый цвет супеси может объясняться значительным содержанием фосфора, которым богаты воды Белого моря. Отложение супесей в водной среде не вызывает сомнения, но оно явно происходило не в спокойных, а в бурных водах, где смешан тонкий, ранее отсортированный материал дальнего приноса (тонкопесчаный) и захва-



Два фрагмента разреза в канаве у стен монастыря. В середине разреза выделяется белесый слой — отложения цунами.

Фото Д.А.Субетто



Современный вид Соловецкого монастыря с воздуха.



План Соловецкого монастыря.
 I — Рыбные ворота;
 II — главные (Святые) ворота,
 А — Сторожевая башня;
 Б — Успенская башня,
 В — Прядильная башня,
 * — положение канавы
 на 2—2.5-метровой террасе.

ченный вблизи берега относительно крупный (грубопесчаной и гравийной размерности). В то же время эти отложения не имеют ничего общего со штормовыми. Да штормовые волны никогда и не достигают стен монастыря. Указанными признаками обладают накопления цунами на берегах крупных водоемов [6, 7]. Мы не находим иного объяснения появления в разрезе белесого слоя, тем более что он развит лишь на морской стороне перемычки между морем и Святым озером, тогда как в донных отложениях последнего при бурении подобных слоев не встречено. Появление такого смешанного по составу материала непосредственно

венно поверх тонкослоистых суглинков, естественных в самой дальней кутовой части длинного мелководного, спокойного (под защитой множества островов) залива или, тем более, поверх суглинистых прибрежно-континентальных отложений, трудно расценить иначе, как некую аномалию, результат некоего экстремального явления, весьма к тому же кратковременного. Важно, что после него подводное осадконакопление не возобновлялось. Иными словами, накопление супесей водного происхождения произошло в то время, когда территория уже в нормальных условиях находилась над уровнем моря.

Таким образом, слой белесой супеси здесь оказывается заведомо древнее XVIII в., особенно если учесть, что между ним и вышележащим строительным горизонтом местами вскрыты слои типа погребенной почвы.

Какой была волна и откуда пришла?

Нельзя не обратить внимания на то, что залив Благополучия на западе Большого Соловецкого острова, подходящий очень близко к западной стене монастыря (гавань которого располагается как раз вблизи этой стены), открыт именно



Угловая башня Соловецкого монастыря.

к западу. Глубина его на расстоянии около 2 км уменьшается от 10 м до 5—2 м в кутовой части, где дно покрыто песком и мелкими обломками. Все это согласуется с представлением о возможности прихода волны к стенам монастыря с запада. Высотное положение белесой супеси у стены монастыря на низкой

морской террасе, заведомо позднеголоценового возраста, позволяет попытаться провести реконструкцию параметров волны. Но для начала обратимся к описанию события в «Летописце Соловецком». «7143 (1635) года было в Соловецком монастыре необычное наводнение от возвышения морской во-

ды, которая, потопив строения, на западной стороне монастыря находящиеся, доходила до крыльца соборной церкви Преображения господня, стоящей на особенно возвышенном месте. От сего случая много причинилось убытков обители, о чем донесено было Святейшему патриарху Иоасафу I, а от него, как

из грамоты видно, докладывано было Великому Государю» [5].

Два признака позволяют отнестись с доверием к этому сообщению. Во-первых, это конкретные черты явления, точно привязанные к местности, знакомой обитателям монастыря. Несомненно, монахи не сообщили бы патриарху о случае вымышленном или рядовом. Во-вторых, «Летописец Соловецкий» составлен был архимандритом Досифеем на основе старых монастырских хроник и «старинного летописца соловецкого» (до 1561 г.), о чем прямо сообщается в тексте. Перед революцией историк Б.Д. Греков дважды посетил монастырь для знакомства с его богатой библиотекой и архивом и убедился в наличии там монастырских документов и дел с 15-го столетия.

Запись о «потопе» в монастырских хрониках — единственная за период от основания монастыря в первой половине XIV в. до начала — середины XIX в. Уже поэтому ясно, что речь идет не о регулярном приливе (его высота здесь не более 0.5 м) и не о буре. Наливкин, как мы видели, связал «наводнение» со штормом. Однако в тексте первоисточника (с которым он вряд ли был знаком, иначе бы сослался) никаких признаков шторма или бури не содержится. Такие явления жителям Соловецких о-вов, несомненно, были знакомы. А вот с внезапным возвышением воды за столетия до того и после сталкиваться не приходилось. Естественно, оно было названо «наводнением», поскольку о явлении цунами тогда понятия не имели, а, соответственно, не было и термина.

Особое значение для понимания природы явления имеют следующие его черты, отмеченные в сообщении «Летописца». «Необычное наводнение» произошло в сезон открытой воды, а не зимой, когда к стенам монастыря обязательно нанесло бы и нагромодило льдины припая. «Наводнение» пришло с запада (между тем как преобладающие

ветры и штормы идут в Белом море с севера и северо-востока), со стороны широкой и мелкой бухты Благоденствия, открытой в сторону западного берега Белого моря. Морская вода не только затопила строения, находившиеся между береговой чертой и стенами монастыря, но, видимо проникла и внутрь обители («потопила строения на западной стороне монастыря») — до крыльца Преображенского собора, стоящего «на особенно возвышенном месте». Как видно на ранних изображениях монастыря и современном его плане, собор стоит прямо напротив Святых ворот, через которые вода могла проникнуть внутрь монастырского двора. «Много убытков» монастырю могло «причиниться» не только от самого проникновения воды, а от подтопления многочисленных жилых и хозяйственных построек и производств во дворе.

Чтобы залить внутренний двор большой массой воды, волна должна была быть высокой, возникнуть внезапно (все это характерные именно для цунами признаки) и к тому же прорваться сквозь узкий дверной проем ворот днем (на ночь ворота запирались).

Возможно, что вода даже переклестнула через стену, ударившись о нее со всей силой. Вспомним, как высоко выбрасываются массы воды при ударах штормовых волн о каменные молы и высокие набережные. Так случается и при цунами. Например, во время одного из них близ Стамбула в сентябре 1963 г. на пологих берегах волна имела высоту около 1 м и только омывала берег, но ударяясь о знаменитые средневековые стены города, перекатывалась через них. А стены бывшего Византия, между прочим, выше стен Соловецкого монастыря.

В летописи указано, что вода во внутреннем дворе монастыря доходила до крыльца Преображенского собора. Его основание находится ныне на высоте 10.7 м над морем. В XVII в. деревянное

приставное крыльцо выступало на несколько метров от самого входа и могло спускаться на несколько метров, но подъем воды до 5—8 м приходится допускать. Трудно представить, чтобы масса воды, достаточная для затопления обширного внутреннего двора на такую высоту, пусть только с западной стороны, могла в короткое время проникнуть через одни узкие ворота в мощной стене. Более того, переклестнувшая через стену волна, видимо, была не одиночной. Вспомним как в одной из рун «Калевалы»: «колыхались озера» (1), что, между прочим, тоже происходило днем, ночью этого не заметишь, и летом (о ледовом покрове речи нет). Случайное совпадение?

Теперь попробуем определиться с «нормальной» высотой цунами, т.е. высотой подъема воды на обычных пологих берегах Соловков. Внезапный накат воды на берега должен был оставить следы не только в монастыре.

Высота цунами

Откроем старинное, едва ли не первое описание путешествия по Белому морю в 1789 г. [8], во время которого некий Фомин посетил низменные части островов Соловецкого, Муксалма, Заяцких. На последнем везде он заметил дрову и гальку, даже в яме двухсаженной глубины и «по нечаянному случаю взрыл ... перстами поверхность дресвы и увидел под оною тонкой, в четверть дюйма, слой саж, которая руку мою зачернила» [8. С.170]. Путешественник обнаружил этот слой во многих местах этого и других островов архипелага. Понятно наличие саж в древних береговых отложениях — первые обитатели жгли на островах растительность под поля. Монахам ведь самим надо было обеспечивать себе пропитание. Но откуда поверх слоя саж 6—7-сантиметровый гравийно-галечный слой на нетрону-

том месте? Не ветром же его принесло. Штормы с запада не идут, да и слой-то единичный, выше уровня штормовых волн. А если его набросило цунами, предварительно перемешав сажу, лежавшую на прежней поверхности, существовавшей во время заселения?

Теперь попробуем оценить высоту цунами по независимым данным о расположении слоя белесой супеси. Верхняя ее граница находится на глубине 0.4 м от современной поверхности, т.е. на абсолютной высоте 1.7—2.1 м. Уровень водной поверхности во время осаждения белесых супесей, несомненно, должен был быть относительно выше.

Верхний предел подъема воды в это время можно оценить с учетом данных, полученных экспедицией 2006 г. на оз.Лесное. В донных отложениях северной части озера не содержится каких-либо прослоев, которые можно было бы трактовать как отложения цунами. Между тем озеро находится на террасе абс. высотой 3—5 м, а зеркало воды в нем на высоте 3 м над ур. м. Оно располагается в меридиональном понижении на продолжении глубоко вдающегося с севера морского залива, т.е. в защищенном с запада участке. Сюда, на высоту 3—5 м, цунами также не проникло.

Это, однако, современные высоты. Между тем известно, что район Соловецких островов, как и все западное побережье Белого моря, испытывает вековое поднятие гляциоизостатической природы.

Ряд прежних гаваней и прежних проходов для судов на архипелаге настолько обмелели уже к началу XX в., что оказались непригодными для использования [9, 10]. Это может означать, что за 400 лет уровень дна в прибрежных частях «подрос» на 0.5—1 м (возможно, частично за счет аккумуляции наносов). Более точные сведения дают океанографические наблюдения и геодезические данные. В XX в. западный берег Белого моря

вблизи г. Кемь поднимался со скоростью 1.1—1.3 мм/год, Соловецкие о-ва — со скоростью 1.1 мм/год [11, 12]. Отсюда получаем, что вскоре после постройки монастыря, примерно 400 лет назад, суша находилась на 0.4—0.5 м ниже, и белесая супесь легла на поверхность высотой 2.1—2.6 м над тогдашним уровнем моря. При набеге на берег вода, несомненно, поднялась выше. Высоту заплеска поэтому можно оценить не менее 2.6—3.1 м, но и не более 3.8—4 м. Цунами высотой 2.5—3 м весьма значимое, по шкале магнитуд относится к третьей категории.

Причина цунами

Что же стало причиной необычного для северных мест явления? Подводных оползней, а тем более каких-то вулканических кратеров, в Западном Беломорье нет. Что касается землетрясений, то к известным можно отнести нескольких слабых, не более 3—4 баллов, толчков у г.Кемь в 1758 и 1913 гг. Сильное же землетрясение в Средневековье произошло, по моему мнению, в западной части Северной Карелии [1]. Именно его следы (или Беломорского землетрясения 1627 г. [13]) заметны в разрезе, исследованном экспедицией 2006 г. в канаве у стен монастыря. Это слой деформаций под горизонтом белесой супеси.

Но если землетрясение произошло, то почему в летописи о нем не упомянуто? В истории не единичны случаи, когда записывают только наиболее поразившие и принесшие ущерб явления. Если, действительно, обитатели монастыря испытали перед цунами сотрясения, то вряд ли интенсивностью свыше 5—6 баллов, как можно судить по величине деформаций в подстилающем слой цунами горизонте. А это значит — никакого ущерба. Поколебалось — и все. А вот «наводнение», принесшее немалое разорение монастыря, — совсем иное дело.

Кстати, в монастырских записях (по крайней мере, в извлечениях из них Досифея) нет упоминания и о случившемся в Беломорье землетрясении за восемь лет до того [13]. К тому же в случае 1635 г. речь идет о более удаленном очаге, где-то в западной части Карелии, на расстоянии 200—300 км. Даже при 8 баллах в эпицентре колебания пришли к монастырю ослабленными — не более 5.5—6 баллов. Ни в постройках, ни в ландшафте такие колебания видимых следов не оставляют. Да и скальных уступов, где хоть какие-то следы можно было бы искать, на архипелаге нет.

Будущие детальные палеосейсмогеологические исследования, вероятно, смогут обнаружить следы столь сильного землетрясения. Пока же упомянем только о возможных его признаках южнее г.Кемь и на Кузовских о-вах. В селе Шуерецком (южнее г.Кемь) до 1917 г. сохранялась деревянная Ильинская церковь, возведенная в 1619 г. В 1865 г. она поправлялась, в 1892 г. реставрировалась. В 15 м от церкви стояла колокольня с шатровым верхом на столбах по кругу. Ниже расположен шатер над церковью, на котором никаких повреждений в начале XX в. не было заметно, тогда как верхний ярус колокольни оставался сдвинутым и перекошенным [14]. Заметим, в нижних ярусах обоих строений повреждений не было, т.е. речь не может идти о деформациях верхнего яруса колокольни (самой возвышенной части сооружения) за счет грунтовых условий или повреждений в основании. Наиболее вероятной причиной резонно считать землетрясение. Сдвигание и перекошение верхней части деревянной колокольни могли возникнуть при горизонтальном сейсмическом воздействии интенсивностью не менее 6, возможно, и 7 баллов.

На Кузовских о-вах, что расположились между западным берегом Белого моря у г.Кемь и Соловецкими о-вами на расстоя-

нии 30–35 км к западу от последних, т.е. со стороны прихода «наводнения», на поверхность выходят скальные породы, местами они образуют отвесные обрывы. И вот в нескольких местах на таких скальных стенках выделяются горизонтальные (!) козырьки, т.е. выступы верхних блоков с нависанием над нижними. Объяснить их чем-то иным, нежели сильными боковыми толчками, трудно, тем более что они встречаются в удалении от

морского берега. Именно такие выступы, выбивания блоков известны в сейсмических областях. Возникают они под действием импульсов силой от 7 баллов и более. Может быть, найдутся свидетельства их возникновения в начале XVII в.? Но даже если эти сейсмодформации более древнего происхождения, их надо рассматривать как возможность сотрясений на западном берегу Белого моря интенсивностью 7 баллов и выше.

В письменных источниках сведения о землетрясении 1635 г. не найдены, но для более близких нам времен Северная Карелия известна своей сейсмичностью [13]. А где бывают слабые и умеренные по силе толчки, там и редкие сильные неудивительны.

Между прочим, в 80-е годы прошлого века там предполагали разместить атомную станцию... Конечно, без знания прошлого. ■

Литература

1. Никонов А.А. Сейсмические мотивы в «Калевале» и реальные землетрясения в Карелии // Природа. 2004. №7. С.25–31.
2. Наливкин Д.В. Ураганы, бури, смерчи. Л., 1969.
3. Богуславский Г. Острова Соловецкие. Архангельск, 1966.
4. Скопин В.В. На Соловецких островах. М., 1991.
5. Летописец Соловецкий на четыре столетия от основания Соловецкого монастыря до настоящего времени, то есть с 1429–1847 г. Изд. четвертое... архимандрита Досифея. М., 1847.
6. Rhodes B., Tuttle M., Horton B. et al. // EOS. 2006. V.87. №21–23. P.205–210.
7. Никонов А.А. Волна, которая обошла мир // Природа. 2005. №5. С.23–28.
8. Фомин А. Описание Белого моря с его берегами и островами вообще, так же частное описание островной каменной гряды, к коей принадлежат Соловки, и топография Соловецкого монастыря с его островами с приобщением морского путешествия в 1789 г. в оный монастырь. СПб., 1797.
9. Федоров П.Ф. Соловки // Зап. Импер. Русск. Географ. общ-ва по отделению этнографии. Т.ХІХ. Вып.1. Кронштадт, 1889.
10. Нечаев А.П. Чудеса Земли. М., 1911.
11. Победоносцев С.В., Розанов Л.Л. // Геоморфология. 1973. №3. С.57–62.
12. Koshechkin V.I., Nikonov A.A., Markov G.A. et al. // Tectonophysics. 1975. V.29. №1–4. P.339–344.
13. Никонов А.А. Исторические землетрясения // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Петрозаводск, 2004. С.192–213.
14. Описание памятников русской архитектуры по уездам // Изв. Импер. археол. ком. Вып.39. СПб., 1911. С.102–162.

Коротко

Специалисты Медицинской школы Маунт-Синай (Нью-Йорк, США) обнаружили у горбатых китов тип церебральных клеток, существующий, как прежде считалось, только у человека и высших приматов. Эти веретенные нейроны у горбатых китов более многочисленны, чем у человека, и представлены в двух областях коры головного мозга, связанных с эмоциональными реакциями. Sciences et Avenir. 2006. №719. P.28 (Франция).

В Китае группа французских и китайских палеонтологов обнаружила ископаемую рептилию с двумя головами. Она представляет собой новорожденную (7 см) или даже еще эмбрион. Хотя это уродство известно у некоторых современных рептилий (черепах и змей), но у ископаемого животного, датированного 120 млн лет, оно встречено впервые. Science et Vie. 2007. №1073. P.23 (Франция).

В мировую сеть биосферных резерватов, в которых природные условия отвечают стандартам, принятым ЮНЕСКО, включено 25 новых: три — в Испании; один — межматериковый, между Испанией и Марокко; 18 — в Мексике, по одному в Российской Федерации, во Вьетнаме и в Малави (Африка). Теперь мировая сеть биосферных резерватов насчитывает 507 «точек» в 102 странах. Terre Sauvage. 2007. №224. P.55 (Франция).

Открытие, дискредитация и реабилитация одного минерального вида

Р.К.Расцветаева

Открытие нового минерала всегда событие, но происходит оно по-разному [1]. Обычно проходит год с момента подачи заявки в Комиссию по новым минералам до его утверждения, а бывает и так, как это случилось с сурхобитом...

Все началось в середине 70-х, когда молодой геолог Слава Дусматов работал в одной из геологических организаций г.Душанбе (тогда Таджикская республика СССР) и выезжал на полевые работы в высокогорный район Верхнедаррапиезского массива щелочных пород в Центральном Таджикистане. Здесь в мощных трехзональных сиенит-пегматитах с широко развитыми процессами альбитизации и карбонатизации он и встретил **этот** минерал...

В 1976 г. Дусматов приехал в Москву, чтобы на Ученом совете ИМГРЭ (Институт минералогии и геохимии редких элементов) защитить кандидатскую диссертацию по минералогии тогда еще мало изученного Даррапиезского щелочного массива. Его оппонент — старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук Евдокия Михайловна Еськова — одобрительно отозвалась о работе и посоветовала молодому ученому более детально изучить редкометалльные минералы этого массива. После защиты



Рамиза Кераровна Расцветаева, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН. Область научных интересов — структурная минералогия. Наш постоянный автор.

Слава пришел к Евдокии Михайловне в ИМГРЭ. Пришел не с пустыми руками, а принес буровато-красный хорошо ограненный кристалл размером 5—7 мм и пояснил, что этот уникальный кристалл вырос на контакте двух зон сиенит-пегматита. Одним концом он упирался в породу, а другим выходил в свободное пространство небольшой пустотки. Там же встречаются и зерна неправильной формы размером до 1 мм. Слава считал, что это — бафертисит, минерал из семейства титаносиликатных слюд, и попросил Евдокию Михайловну его исследовать, т.к. достаточно надежной лабораторной базы в Душанбе не было. На счету Еськовой был богатый опыт работы с минералами и несколько открытий. Однако Евдокия Михайловна не сразу дала согласие, обещала подумать. Уж очень велика была у нее нагрузка. Чего стоило только вести плановую тему по минералогии и геохимии редких элементов на месторождениях ниобия и тантала в щелочных комплексах Кольского п-ова и перспективных рудопрооявлениях Урала и Казахстана. Она выезжала на полевые работы, а параллельно много лет занималась еще и монографиями. Была ответственна за сбор материала для трехтомника «Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов» (1954—1966), впоследствии удостоенной Государственной премии СССР. Одновременно готовила совместно с Г.Н.Мухитдиновым и А.Г.Жабиным монографию «Геохимия и минералогия редких элементов Вишневых гор», была соавтором еще двух отдельных монографий: М.В.Кузьменко, Е.М.Еськова «Тантал и ниобий» и Е.И.Семенов и др. «Минералогия щелочных массивов и их месторождений». Издавала собственную книгу «Щелочные редкометалль-



Евдокия Михайловна Еськова в наши дни.

ные метасоматиты Урала» (1976). Не будем забывать, что тогда не было компьютеров, и текст писали и переписывали от руки, печатали и перепечатывали на машинке, рисунки изготовлялись тоже вручную пером и тушью.

Открыли бафертисит Е.И.Семенов и Чань Пэйшань (1959) [2]. Позже была изучена и его структура [3]. В 1965 г. Т.А.Яковлевская и Д.А.Минеев подробно с полной оптической ориентировкой и описанием формы кристалла исследовали бафертисит из Тарбагатая (Восточный Казахстан) [4]. И, наконец, А.А.Ганзеев с соавторами в 1968 г. описал аналогичный минерал из Бурпалы (Северное Прибайкалье) [5].

Тремя предыдущими находками бафертисита занимались научные сотрудники и высококвалифицированные химики-аналитики ИМГРЭ. Казалось, не случайно и четвертая находка попала в этот же институт. К тому же Евдокию Михайловну интересовали нефелин-сиенитовые массивы, и она решила исследовать дарапиевский кристалл.

Опубликованные к тому времени анализы бафертисита характеризовались высоким содержанием бария (26.59–29.98% BaO) и низким содержанием калия (0.12–0.50% K₂O), натрия (0.38–0.49% Na₂O) и кальция (0.13–0.37% CaO). Выполненный А.В.Быковой в 1977 г. химический анализ дарапиевского кристалла, многократно пересчитанный Евдокией Михайловной, не соответствовал бафертиситу из-за низкого содержания бария (14.45% BaO), высокого содержания натрия, калия и кальция при резком преобладании кальция над натрием (4.74% CaO), а также большого количества фтора (4.06%). Упрощенная эмпирическая формула минерала, рассчитанная на 12 катионов, (Ca,Na)(Ba,K)(Fe²⁺,Mn)₄Ti₂(Si₄O₁₄)O₂F₂(OH,O) выглядела столь непохожей на бафертиситовую, что Евдокия Михайловна решила подстраховаться и пе-

редала материал сразу в две лаборатории ИМГРЭ на спектральный анализ и порошкограмму. Спектральный анализ (аналитик З.Т.Катаева) в отдельной навеске минерала показал присутствие Sr, Al, Nb, Ta, Zr, Cs, а Cl, P и S не были обнаружены. Дебаграмму анализировал высококлассный структурщик А.А.Воронков, который пришел к заключению, что образец относится к семейству бафертисита, но с высоким содержанием кальция и низким содержанием бария. Так Александр Александрович не только подтвердил новизну минерала, но и впервые ввел понятие «семейства» бафертисита, впоследствии обогатившегося большим количеством новых видов, как с высоким, так и с низким содержанием бария.

Дусматов долгое время в Москве не появлялся. Между тем минерал изучили оптически и химически. Евдокия Михайловна выполнила также микроскопическое исследование на федоровском столике — на шлифах трех зерен, взятых непосредственно из пустотки, и двух зерен на контакте мелкозернистой породы и микроклина. Минералы оказались с разной схемой плеохроизма и разной ориентировкой оптических осей. Для бафертисита Np > Ng, плеохроизм буровато-красный—зеленовато-желтый, оптическая ось ориентирована вдоль плоскости (010), а для нового минерала Nm > Ng > Np, плеохроизм оранжевый—ярко-желтый—желтый, оптическая ось перпендикулярна плоскости (010). Нехватало только структурных данных. Воронков обещал сделать структурный анализ, но занимался подготовкой к изданию своей второй монографии и докторской диссертацией. Надо было подождать. Да и своей работы у Еськовой хватало.

В 1978 г. вышла монография «Кристаллохимия минералов циркония и их искусственных аналогов» А.А.Воронкова в соавторстве с Ю.А.Пятенко и З.В.Пудовкиной, но Александр Александрович так и не приступил к структурному анализу минерала. К тому времени он уже тяжело болел и успел пройти лишь предварительную апробацию докторской диссертации. В 1982 г. его не стало. Это была первая утрата на пути открытия нового минерала из Дарапиевского массива.

В том же году появился новый Ba-Mn-Fe-Ti силикатный минерал цзиньшацзянит [6]. Его утвердили без структурного анализа на основе химического отличия от бафертисита, и в 1984 г. в журнале «American Mineralogist» в разделе «Новые минералы и названия минералов» было опубликовано сообщение о нем. Тогда Евдокия Михайловна набралась смелости и без ведома «хозяина» обратилась в Московское отделение Комиссии по новым минералам, чтобы узнать ее мнение относительно оригинальности «алайскита», как она условно назвала кристалл Дусматова. Заключение Комиссии было положительное. Минерал отличался от бафертисита меньшим количеством бария, а от цзиньшацзянита преобладанием кальция над на-

трием. Однако руководившая Комиссией легендарная И.Д.Борнеман-Старынкевич не согласилась с кристаллохимической формулой Евдокии Михайловны и настаивала на определении структуры минерала, чтобы удостовериться в его принадлежности к семейству бафертисита.

Время шло, Советский Союз распался, связь с Дусматовым стала еще более проблематичной. У Евдокии Михайловны не было никаких сведений о месте его пребывания. Она вышла на пенсию, но продолжала его разыскивать.

А между тем в 1991 г. открыли еще один минерал группы бафертисита из месторождения Сент-Илер (Квебек, Канада). Опять только на основе химического отличия от бафертисита и цзиньшацзянита. Новый гидратированный Na-K-Ba-Mn-Ti-Nb силикат [7] назвали перролтитом (впоследствии была принята другая транскрипция с французского — перротит). Структурно он был изучен много позже (1998) на образце из Приазовья [8, 9].

Еськова же продолжает поиски «структурщика». В данной ситуации без структуры доказать оригинальность минерала стало невозможно. Хотя структурные исследования в эти годы были не столь трудоемкими, проблемы с экспериментом оставались. Закупленные за рубежом дорогостоящие приборы работали многие годы, порядком износились и часто ломались, а в ИМГРЭ (как и в большинстве институтов Москвы) их вообще не было. Да и специалистов-структурщиков в ИМГРЭ не осталось, после того как умер Воронков, а заведующий рентгеновской лабораторией Пятенко ушел на пенсию. К счастью, новый заведующий лабораторией В.А.Блинов знал, что структурой титаносиликатных слюд, в том числе бафертисита, занимаются в Институте кристаллографии РАН. В 2002 г. он обратился ко мне с предложением изучить дарापиезскую находку.

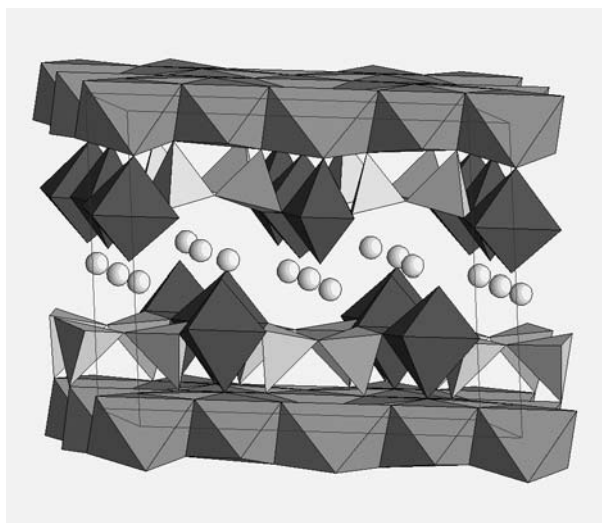
Минералы семейства титаносиликатных слюд редки. Они встречаются в щелочных породах различных типов и чрезвычайно разнообразны химически и структурно. Их число в настоящее время достигло 30. Я как раз закончила исследование двух марганцевых модификаций бафертисита [10], одну из которых впоследствии назвали хейтманитом. Вместе с моей аспиранткой Ксенией Розенберг мы занялись структурой необычного бафертиситоподобного минерала. Тогда состоялось и знакомство с Евдокией Михайловной, которая приехала в Институт кристаллографии, чтобы передать мне материал для рентгеноструктурного анализа. Начался новый этап в изучении минерала.

Тем временем Евдокия Михайловна продолжала поиски Дусматова и узнала, что Вячеслав Джураевич стал сотрудником Московского минералогического музея им.А.Е.Ферсмана. Она сразу же позвонила ему и сообщила, что все данные по минералу получены и статья вчерне написана, а структура в процессе изучения. Предложила

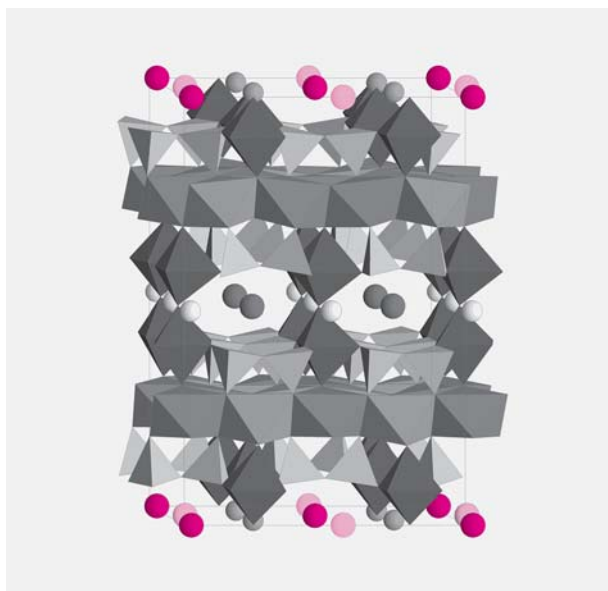
пять или шесть вариантов названия, в том числе и «алайскит». Но Дусматов отверг все варианты и сказал, что минерал будет «сурхобитом». Он найден в бассейне р.Сурхоб и имеет красную окраску, а в переводе с таджикского «сурхоб» означает «красный».

Структурное исследование будущего сурхобита с самого начала преподнесло сюрприз: его моноклинная ячейка в два раза больше ячейки бафертисита из-за удвоенного c -параметра: $a = 10.723$, $b = 13.826$, $c = 20.791$ Å, $\beta = 95^\circ$ (пространственная группа $C2$). Но такими же параметрами обладают перротит и цзиньшацзянит, а значит, и структуры всех трех минералов могут быть одинаковыми. Хотя структурно цзиньшацзянит до сих пор не изучался, Г.Феррарис с соавторами [11] на основе химического состава, параметров ячейки и большинства физических свойств показали, что он (с большой степенью вероятности) относится к тому же структурному типу, что и перротит. К тому же ИК-спектры, полученные Н.В.Чукановым, ясно указывали на сходство сурхобита с перротитом и цзиньшацзянитом и отличие всех трех минералов от бафертисита и хейтманита. Наше исследование подтвердило эти выводы. Сурхобит и перротит (и скорее всего цзиньшацзянит) относятся к одному структурному типу, производному от бафертисита.

В основе структуры бафертисита лежат трехслойные пакеты. Сердцевину пакета образует «гладкий» слой из плотнопригнанных друг к другу октаэдров (он называется O -слоем). В бафертисите — это октаэдры железа (само название бафертисита происходит от элементов Ba-Fe-Ti-Si). Периферийные слои, напротив, ажурные и зубчатые и состоят из разнородных элементов — Ti-октаэдров и sdвоенных Si-тетраэдров. Они называются H -слоями (от латинского hetero). Пакеты H - O - H объединяются слоем из атомов Ba (или иных



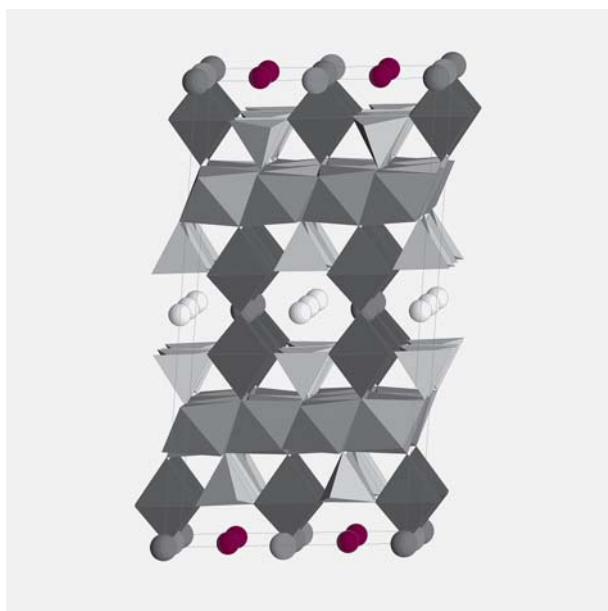
Структура бафертисита. Шарами показаны ионы Ba.



Кристаллическая структура сурхобита. В широких каналах расположены катионы Ва (красные) и К (розовые).

крупных катионов в других минералах). Разнообразие минералов этого структурного типа связано с составом октаэдрических катионов среднего слоя (сердечника) и крупных катионов межпакетного пространства. Если в бафертисите сердечник железный, то в хейтманите он марганцевый.

В перротите присутствуют те же структурные фрагменты, но пакеты *H-O-H* сдвинуты относи-



Кристаллическая структура сурхобита. В узких каналах расположены катионы Na (светлые кружки) и Ca (бордовые кружки).

тельно друг друга на 0.25 по осям *x* и *y*. В результате выступающие из *H*-слоя в виде зубцов вершины Ti-октаэдров смыкаются и образуют трехмерный каркас, в котором содержатся взаимоперпендикулярные сквозные каналы — широкие с восьмиугольным сечением и узкие с шестиугольным сечением. В широких каналах располагаются крупные катионы Ва и К, а узкие заселены более мелкими катионами Са и Na. Наличие в этих минералах узких цеолитных каналов — главная причина высоких содержаний в них натрия и кальция.

Итак, стало ясно, что сурхобит имеет такую же структуру, что и перротит. Если бы сурхобит структурно исследовали в течение хотя бы пяти-шести лет со времени его находки, он был бы оригинальнее цзиньшацзянита (1982) и тем более перротита (1991). Теперь же для получения статуса самостоятельного минерального вида потребовались существенные химические и кристаллохимические отличия от перротита и цзиньшацзянита. И они нашлись. Сурхобит отличается преобладанием кальция над натрием в узких цеолитных каналах. Более того, в структуре сурхобита атомы Са занимают одну позицию в узком канале полностью, а две другие позиции — натриевые. Аналогично в широких каналах крупные атомы бария преобладают в двух позициях, а в третьей доминирует калий.

Новый минерал сурхобит был одобрен Комиссией по новым минералам и названиям минералов ВМО (Всероссийского минералогического общества) 12 июля 2002 г. и утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 3 октября 2002 г. В.А.Блинов, способствовавший этому событию, об этом уже не узнал. После тяжелой болезни его не стало. Это была вторая — в череде потерь.

В 2003 г. в журнале «Кристаллография» вышла наша статья о кристаллической структуре сурхобита [12]. Одновременно в «Записках ВМО» опубликована статья Еськовой с соавторами «Сурхобит $(Ca,Na)(Ba,K)(Fe^2,Mn)_4Ti_2(Si_4O_{14})O_2(F,OH,O)_3$ — новый минерал (Алайский хребет, Таджикистан)» [13]. В этом же году нам вручили диплом об открытии сурхобита. Казалось, долгая история наконец счастливо завершилась. Авторы открытия — Евдокия Михайловна, Никита Владимирович Чуканов и я — собрались в ИК РАН и на радостях подняли бокалы, правда, не таджикского, но все же красного вина, символически обмыв красный минерал. Не было только главного виновника торжества — Вячеслава Джураевича, он тяжело болел и находился в больнице. Мы решили собраться еще раз, когда он выздоровеет. Но судьба распорядилась по-другому, и скоро Вячеслава Джураевича не стало. Трагедии следовали одна за другой, уходили из жизни люди еще совсем не старые. Слабым утешением было лишь то, что

Таблица

Сравнительный катионный состав сурхобита и перротита

Минерал	Катионы в позициях каналов	Октаэдры О-слоя	Октаэдры H-слоя
Сурхобит (Таджикистан) [12, 13]	[Na][Na][Ca][Ba][Ba][K]	(Mn,Fe ²⁺ Fe ³⁺) ₈	Ti _{13,7} Nb _{0,3}
Перротит (Приазовье) [9]	[Na][Na][Na][Ba][K][Ba]	Mn _{4,7} Fe _{3,05} Zr _{0,15}	Ti _{3,84} Nb _{0,16}

главный автор минерала Вячеслав Дусматов дождался утверждения своего открытия.

Прошло еще три года. И вдруг (как гром среди ясного неба) появилась заявка на дискредитацию сурхобита... Она пришла с геологического факультета Университета Канады, от имени трех минералогов (двое — выходцы из России). Их требование дискредитации было основано на результатах химического микронзондового анализа, показавшего меньшее количество кальция, чем было получено химиками ранее, а стало быть лишившего сурхобит его главного преимущества. «Ошибку» химиков они объяснили примесью флюорита CaF₂, которая могла привести к более высокому содержанию Ca и F (хотя Евдокия Михайловна тщательно отбирала материал для химического анализа под микроскопом и флюорита не обнаружила). Инициаторы дискредитации оставили без внимания и свидетельство А.А.Ганзеева с соавторами [5] о том, что ими был встречен бафертиситоподобный минерал с еще более высоким содержанием Ca (6.01% CaO). Авторы дискредитационной заявки проигнорировали и данные о присутствии в составе минерала трехвалентного железа, найденного ранее «мокрым» химическим анализом, и на основании преобладания двухвалентного железа над марганцем предложили считать сурхобит разновидностью цзиньшацзянита с повышенным содержанием кальция.

Председатель Комитета по номенклатуре минералов пытался отложить дискредитацию и предложил доисследовать эту группу минералов, поскольку дискредитация основана только на химическом анализе. Но авторы заявки не хотели ждать и настаивали на немедленном голосовании. Комитет проголосовал в ноябре 2006 г. за дискредитацию сурхобита неохотно: голосовала лишь половина из 29 членов Комитета, а из числа голосовавших трое были против и двое воздержались. Таким образом с трудом набрались необходимые 2/3 голосов. Несправедливость дискредитации необходимо было оспорить. Но как? Кристаллохимическое сравнение с цзиньшацзянитом невозможно из-за отсутствия структурных данных, а достать материал, чтобы выполнить рентгеноструктурный анализ, оказалось сложно. Голотипного образца цзиньшацзянита не оказалось ни в одном музее мира, а авторы открытия минерала давно покинули Китай в неизвестном направлении, и их следы затерялись. Мы попытались изучить структуру цзиньшацзянита на образце из место-

рождения Швеции, но шведский минерал оказался полиморфной модификацией цзиньшацзянита с ячейкой вдвое меньшей по двум направлениям *a* и *b*. Оставался последний шанс — сравнить сурхобит не с цзиньшацзянитом, а опереться на его химические и структурные отличия от перротита (см. таблицу).

Чуканов, принимавший активное участие в изучении и утверждении сурхобита, изыскал возможность проанализировать минерал мессбауэровским методом на предмет содержания в нем трехвалентного железа. Анализ, выполненный в Германии, подтвердил содержание Fe³⁺ в существенных количествах, найденных ранее мокрой химией. Это поменяло соотношение Fe²⁺ и Mn в сурхобите в пользу марганца, и теперь у сурхобита «сердечник», хотя и железный, как у цзиньшацзянита, но с преобладанием марганца, как у перротита. Сурхобит, таким образом, стал аналогом перротита, отличающимся высоким содержанием кальция, который к тому же, как подчеркивалось выше, не «размазлся» по позициям натрия в узком канале, а обособился в отдельную позицию. Кроме того, в широком канале структуры сурхобита калий-доминантной позицией оказалась другая. А это уже два серьезных основания для реабилитации. Мы составили и в конце 2006 г. подали заявку на реабилитацию сурхобита с учетом дополнительного изучения и уточнения химической формулы. Через полгода, в мае 2007 г., пришло известие о его реабилитации с заключением Комиссии по дискредитации и реабилитации минералов (IMA CNMNC): «Минерал сурхобит и его название восстановлены. Сурхобит отличается от цзиньшацзянита преобладанием Mn над Fe²⁺ и от перротита — доминированием Ca в A(6) позиции».

Вместо заключения

История открытия сурхобита в каком-то смысле уникальна. За 30 лет с момента находки минерала произошло много событий — как в личной судьбе людей, так и в судьбе страны. Без сомнения, они неблагоприятно отразились на ходе исследования. Обидно, что наших соотечественников, впервые обнаруживших и изучивших новый минерал, дважды обошли зарубежные коллеги. И все же сурхобит дождался своего утверждения, пережил дискредитацию и свое второе рождение.

И значит, борьба за российский минерал все же не проиграна...

P.S. Пока верстался номер, мы получили сообщение от наших оппонентов из Канады с предложением объединиться (!) для публикации статьи по

реабилитации сурхобита. Мы сочли это предложение в лучшем случае неуместным и ограничили благодарностью канадским минералогам за инициирование дополнительного исследования этого минерала. ■

Литература

1. Расцветаева Р.К. Как открыть новый минерал // Природа. 2006. №5. С.31—38.
2. Setenov E.I. // Science Record. 1959. V.3. P.652.
3. Гуань Я-сянь, Симонов В.И., Белов Н.В. // Докл. АН СССР. 1963. Т.149. №6. С.1416—1419.
4. Яковлевская Т.А., Минеев Д.А. О кристаллах и оптической ориентировке бафертисита // Тр. Минер. музея. 1965. Вып.16. С.293—294.
5. Ганзеев А.А., Ефимов А.Ф., Семенова Н.Г. // Геохимия. 1968. №3. С.335—340.
6. Hong Wenxing, Fu Pingjiu // Geochemistry (China). 1982. V.1. P.458—464. Abstract: Amer. Miner. 1984 («New minerals and mineral names»).
7. Сбао G.Y. // Can. Miner. 1991. V.29. P.355—358.
8. Пеков И.В., Беловицкая Ю.В., Карташов П.М. и др. // ЗВМО. 1999. №3. С.112—120.
9. Ямнова Н.А., Егоров-Тисменко Ю.К., Пеков И.В. // Кристаллография. 1998. Т.43. С.401—410.
10. Расцветаева Р.К., Тамазян Р.А., Соколова Е.В., Белаковский Д.И. // Кристаллография. 1991. Т.36. №2. С.354—360.
11. Ferraris G., Ivaldi G., Pushcharovsky D.Yu. et al. // Can. Miner. 2001. V.39. P.1307—1316.
12. Розенберг К.А., Расцветаева Р.К., Верин И.А. // Кристаллография. 2003. Т.48. №3. С.428—433.
13. Еськова Е.М., Дусматов В.Д., Расцветаева Р.К. и др. // Записки ВМО. 2003. №2. С.60—67.

В Антарктическом центре, расположенном в Крайстчерче (Новая Зеландия), внимание посетителей привлекают пингвины-пигмеи, «обутые» учеными в мягкие галоши из синей резины. Дело в том, что при слишком быстром хождении по твердому грунту лапам этих животных угрожают мозоли и инфекции. Естественные места обитания пингвинов-пигмеев — литораль Новой Зеландии и Австралии.

Sciences et Avenir. 2007. №719. P.27 (Франция).

На сегодняшний день Конвенцию о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение (главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц), которая была принята в г.Рамсаре (Иран) в 1971 г., подписали 150 стран. Под защитой конвенции находятся 1634 уникальные

территории — болота, эстуарии, торфяники — общей площадью 145 млн га. Последними в их число вошли Пантанал (природная область в верховьях р.Парагвай, Бразилия), озера Чилийских Анд и два озера вулканических кратеров на Коморских о-вах (Индийский океан).

Sciences et Avenir. 2007. №720. P.28 (Франция).

Европейская дирекция по безопасности пищевых продуктов (European Food Safety Authority — EFSA) начала переоценку безопасности представленных на европейском рынке пищевых красителей. Собираются последние научные данные о чистоте, способах производства, использовании в продуктах питания 45 красителей. Исследование завершится в 2008 г., но с первыми выводами специалистов можно будет

ознакомиться еще до его окончания на сайте EFSA.

www.efsa.europa.eu/fr/science/afc.html; Science et Vie. 2007. №1073. P.32 (Франция).

Группа английских археологов раскрыла некоторые секреты средневековых алхимиков. Тигли, изготовленные пять веков назад в районе г.Хесса (Южная Германия), отличались исключительной жаростойкостью. Анализ их структуры и химического состава показал, что эти тугоплавкие сосуды содержат силикат алюминия, называемый муллитом ($Al_6Si_2O_{13}$). Такое вещество было описано только в XX в.! По мнению химиков, проводивших анализ, этот силикат получали, по-видимому, из каолина, нагретого до температуры свыше 1100°C.

La Recherche. 2007. №404. P.18 (Франция).

Ящерицы в эпоху динозавров

В.Р.Алифанов

Реликты юрского периода

На фоне современного разнообразия ящериц, достигающего нескольких тысяч видов, палеонтологическая летопись выглядит бедно. И не удивительно! Останки небольших животных обычно быстро разрушаются и редко сохраняются. Тем не менее благодаря находке нескольких мелких челюстных костей в нижнемеловых отложениях Англии в середине XIX в., т.е. на заре развития палеонтологии позвоночных, выяснилось, что ящерицы были современниками динозавров. Но еще раньше появились сведения о гигантских водных ящерицах — мозазаврах, обитавших в морях на последнем этапе мезозойской эры.

Со времени первой находки на территории Голландии в 1780 г. особенности образа жизни и родства мозазавров не раз обсуждались в среде специалистов. В их числе были такие известные палеонтологи, как Ж.Кювье, Р.Оуэн, Э.Коп, О.Марш и Л.Долло. В итоге удалось установить, что возникновение и расцвет морских ящериц — всего лишь яркий эпизод сложного и длительного исторического развития в целом наземной группы, которая, как сейчас доподлинно известно, появилась на арене эволюции в середине юрского периода, т.е. около 170 млн лет назад.

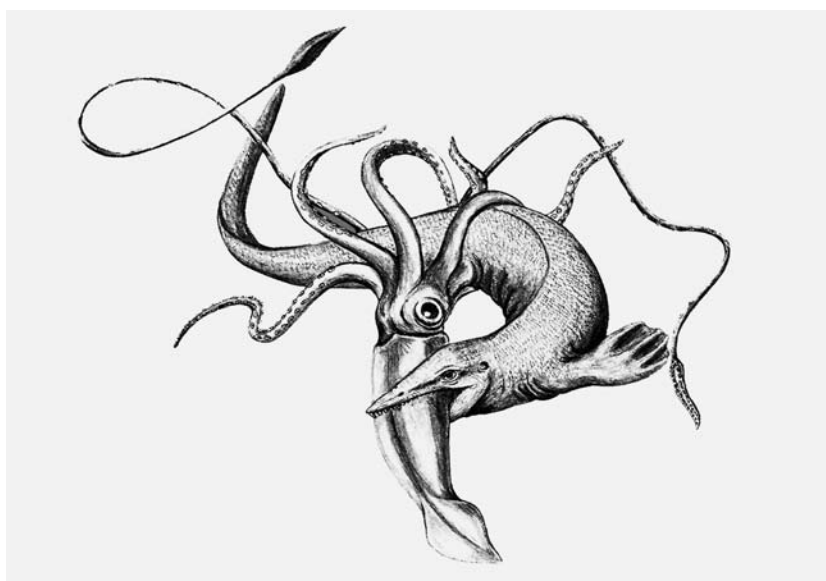


Владимир Рудольфович Алифанов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Палеонтологического института РАН. Область научных интересов — морфология, филогения и систематика ископаемых рептилий.

Начало распространения ящериц обусловлено рядом причин, в том числе тем, что в течение мезозойской эры на планете был относительно ровный и теплый климат, без оледенений и со слабо выраженной широтной зональностью. Это весьма важное обстоятельство не только для ящериц, но и для всех пресмыкающихся, поскольку их активность, в отличие от птиц и млекопитающих, зависит от внешнего тепла. С одной стороны, подобная физиологическая особенность позволяет экономно расходовать энергию, поступающую с пищей, а с другой, ставит в зависимость от суточных или сезонных температур. Чем холоднее или чем больше температурные колебания, тем труднее пресмыкающимся закрепиться на той или иной территории. Вот почему в мезозое они легко расселялись во всех направлениях, а современная герпетофауна сосредоточена

главным образом в субтропических и тропических широтах.

Во многом эволюционный взлет ящериц сопряжен с рядом физиологических и морфологических новоприобретений. Наиболее важные из них касались строения черепа. В результате верхняя челюсть ящериц приобрела подвижность, а челюстной аппарат в целом получил возможность амортизировать рывки добычи, перехватывать ее для максимально выгодного приложения силы челюстей и быстро проталкивать в глотку. Расчеты показывают, что подвижный, или кинетический череп (у ящериц черепная конструкция называется амфикинетической из-за наличия двух поворотных зон в крыше черепа) максимально эффективен, если добыча невелика и не требует какой-либо специальной обработки челюстями. По этим показателям для ящериц наилучшим образом подходят насекомые [1], ставшие



Скелет хайнозавра — одного из многих видов мозазавров. Эти морские ящерицы были самыми страшными хищниками морей в конце мезозоя. Некоторые из них, как хайнозавр, достигали 15—17 м в длину.

Сцена охоты мозазавра. Пищей морским ящерицам служила небольшая рыба, но они вступали в схватки и с разнообразными врагами, в том числе и с гигантскими кальмарами.

исключительно многочисленными в начале мезозоя.

Причуды летописи

Научный интерес к ящерицам проявился на рубеже XVIII—XIX вв. Тогда специалисты, знакомясь с их разнообразием, опирались главным образом

на внешние характеристики. Во второй половине 19-го столетия, когда начали распространяться эволюционные идеи, возникла необходимость создать филогенетическую классификацию ящериц, для чего потребовались данные сравнительной анатомии. На этом этапе палеонтология не оказала заметного влияния, поставив

в число основных лишь вопрос о происхождении и родственных связях мозазавров.

В конце XIX—начале XX в. появилось сразу несколько развернутых классификаций. Однако в основу современной картины легла система американского ученого Ч.Кэмпса [2]. В ней фигурируют названия принятых и сейчас крупных систематиче-

ских образований (инфраотрядов): сцинкоморфы (сцинки и их родственники), ангвиморфы (вараны, ядозубы, веретеницы и их родственники), геккоты (гекконы и чешуеноги) и игуаны (агамы и игуаны).

Кэмп указывал на близкое родство сцинкоморф и ангвиморф, а также геккот и игуаний, причем вторую пару считал архаичнее первой. В последние десятилетия эти представления не раз подвергались переосмыслению. В результате геккоты были сближены со сцинкоморфами и ангвиморфами в составе общей группы сцинко-геккономорф, а статус наиболее близких к предковому типу ящериц сохранен только за игуаниями [3, 4]. Но последнее заключение не бесспорно. Ему, например, противоречат данные палеонтологической летописи, в которой первыми о себе заявляют сцинко-геккономорфы.

Впрочем, у палеонтологической летописи есть свои причуды. Например, еще недавно бытовало представление о кайнозойском расцвете ящериц на том основании, что преобладающее число их ископаемых находок обнаружено в отложениях соответствующего возраста. Однако в последние десятилетия все отчетливее стал прорисовываться мезозойский подъем разнообразия группы. Этому содействовало изучение многочисленных материалов из континентальных отложений пустыни Гоби, разнообразных систематически и уникальных по сохранности. В Монголии ископаемые ящерицы собирались и обрабатывались участниками нескольких международных палеонтологических экспедиций: Польско-Монгольской (1964—1972 гг.), Советско-Монгольской (с 1969 г.) и Монголо-Американской (с 1992 г.).

Но первые сборы были сделаны в начале 20-х годов XX в. экспедицией Американского музея естественной истории (Нью-Йорк) на верхнемеловом местонахождении Байн-Дзак. В печати их представил амери-

канский палеонтолог Ч.Гилмор [5]. Из нескольких фрагментарных образцов наиболее примечательным выглядит макроцефалозавр (*Macrocephalosaurus*), череп которого оказался на редкость, даже для современных форм, внушительного размера — более 10 см в длину (этим и объясняется его название: большеголовая ящерица). Любопытна еще одна деталь: на передних концах верхних челюстей макроцефалозавра имелись крупные клыкообразные зубы, как у современных агам. Эта и некоторые другие особенности склонили ученого к выводу о связи макроцефалозавра именно с агамообразными ящерицами.

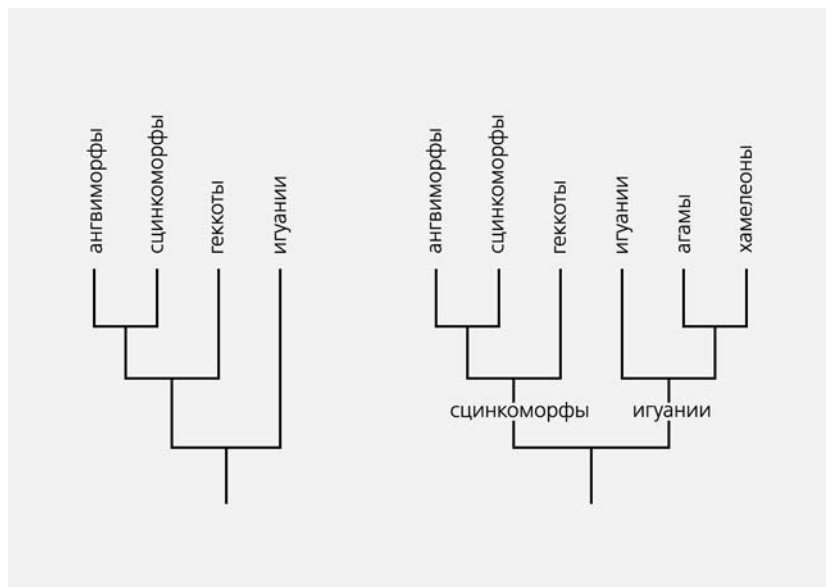
Сборы других экспедиций существенно расширили представление о разнообразии ископаемых ящериц Азии, но одновременно обнажили новые проблемы. В частности, оказалось, что многие меловые формы не поддаются однозначному систематическому определению. Так, польский палеонтолог А.Сулимский предположил, что установленный им по полному черепу

адамизавр (*Adamisaurus*) находится в тесном родстве с агамами [6]. Действительно, такой вывод можно сделать, опираясь на строение, скажем, костей нижней челюсти. Однако спустя несколько лет Сулимский решил, что сходство адамизавра и агам поверхностно, а гипотезу родства ископаемой формы необходимо пересмотреть в пользу сцинкоморф [7]. Польский палеонтолог описал также несколько новых видов макроцефалозавров [8]. Как оказалось, их «заклыковые» зубы имели лопаткообразную вершину, разделенную на многочисленные дополнительные зубчики, как у некоторых современных игуан. Но эти детали исследователь счел незначительными и, как и адамизавра, отнес макроцефалозавров к сцинкообразным ящерицам.

Проблему родства адамизавра и макроцефалозавров попытался решить американский палеонтолог Р.Эстес [9]. Ему принадлежит идея включить этих ископаемых ящериц в состав теид (Teiidae) — семейства, представители которого ныне



Череп адамизавра (*Adamisaurus magnidentatus*). По форме зубов он напоминает некоторых сцинко-геккономорфных ящериц, но строением нижних челюстей близок к агамидам. Образец из фондов Палеонтологического института (ПИН).



Варианты родственных связей основных подгрупп ящериц. Слева — вариант, предложенный Р.Эстесом и др. [4], справа — автором [14].

населяют главным образом Южную Америку, а в меловое время были распространены по всей Америке. Интересно, что положение этой группы, состоящей из двух подгрупп (макро- и микротейин), в системе ящериц точно не установлено. Некоторые систематики допускают, что макротейины, которых еще называют американскими варанами, родственны игуаниям. Однако общепринятая, но не имеющая очевидных морфологических доказательств точка зрения указывает на принадлежность этой группы сцинкоморфам.

Противоречия в суждениях специалистов имеют свои причины. Главная из них в том, что действующая классификация, созданная преимущественно на основании сравнительноанатомического изучения современных форм, не всегда отвечает древнему разнообразию. Вместе с тем именно по находкам ископаемых животных удается вскрыть заблуждения, неточности и противоречия многих сложившихся ранее взглядов. И хотя изложение естественной истории ящериц в наше время уже трудно представить без учета палеонтологического мате-

риала, но сказать, что он лежит в основе современных представлений об эволюции этой группы пресмыкающихся, еще нельзя.

Игуаны и историческая зоогеография

Открытие в составе комплексов позднемеловых тетрапод Азии игуан (Iguanidae) современного типа для многих герпетологов стало неожиданностью [10]. Дело в том, что в настоящее время ящерицы этой группы распространены в основном в Северной и Южной Америках. Правда, они обитают еще на Мадагаскаре (три вида) и на островах архипелагов Фиджи и Тонга (один вид), что кажется исключением из общего правила. Само же правило гласит: игуаны живут в Новом Свете, а их ближайшие родственники агамы (Agamidae) — в Старом Свете (кроме Мадагаскара) и Австралии. Иными словами: там, где обитают игуаны, нет агам.

Установлением и объяснением закономерностей расселения животных в прошлом зани-

мается историческая зоогеография. Возможности этой дисциплины еще далеко не исчерпаны, о чем можно судить по различию гипотез, объясняющих происхождение современной фауны Австралии с ее обилием эндемичных (т.е. обитающих только на данной территории) видов сумчатых млекопитающих. Если принять, что большинство видов плацентарных млекопитающих появилось на этом окруженном со всех сторон морями южном материке вместе с человеком или немного раньше, то можно сделать некоторые любопытные выводы. Один из них: центр происхождения сумчатых территориально был обособлен от центров происхождения других групп млекопитающих. И следующий вывод: австралийская фауна обособилась прежде, чем началось расселение плацентарных.

По представлениям ряда геологов и биологов, Австралия превратилась в остров в меловое время, более 120 млн лет назад, после чего начала двигаться на север. До этого в триасовом периоде, около 220 млн лет назад, материк еще был частью суперконтинента Пангеи, а затем входил в состав Гондваны, достоверно включавшей Австралию, Антарктиду и Южную Америку. На севере располагался другой суперконтинент — Лавразия, куда входили Северная Америка, Европа и Палеоазия. Видимо, Гондвана и стала родной сумчатых. Плацентарным же досталась Лавразия. Она, кстати, просуществовала недолго — на границе юрского и мелового периодов разделилась на несколько ограниченных морями блоков.

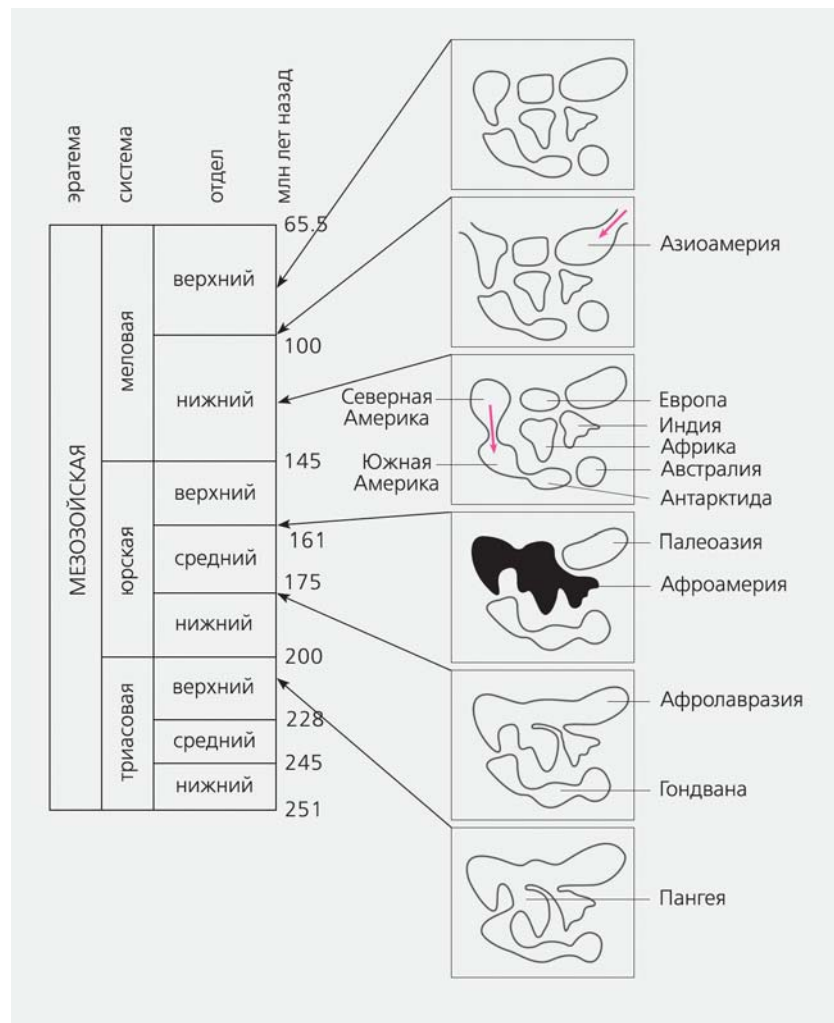
В течение мезозоя уровень моря постоянно повышался (эпоха трансгрессии), что во второй половине мелового периода привело к изоляции всех крупных участков суши. Единственно достоверное крупное зоогеографическое событие того времени — обмен фаун Палеоазии и Северной Америки через

Берингийский мост. Обычно считается, что мост действовал на протяжении большей части позднего мела, однако есть представление и о его краткосрочном существовании. Последняя точка зрения основана на том, что позднемеловые фауны Азии и Северной Америки включают эндемичные группы, которые нередко формируются в условиях территориальной изоляции. С учетом этого обстоятельства нельзя исключить, что впервые азиоамериканская связь начала действовать на рубеже раннего и позднего мела.

Однако формирование Берингии не объясняет всех особенностей распространения наземных животных в меловое время. Например, одни группы динозавров (тираннозавриды, гребнеголовые гадрозавры, высшие рогатые динозавры) заселяли Палеоазию и Северную Америку, а другие (плоскоголовые гадрозавры, альваресзавры, анкилозавры из семейства нодозавров) — еще и Южную Америку. Отсутствие некоторых типичных для северных континентов групп динозавров в Южной Америке можно объяснить двумя способами: или неполнотой палеонтологической летописи, или допущением еще одного крупного зоогеографического события.

Им могла быть межамериканская фаунистическая связь, которая если имела место, то до начала формирования Берингии. Фактически можно предположить поочередность связей Северной Америки: сначала с Южной Америкой, а потом с Палеоазией. Именно такой ход событий позволяет понять, почему ареал азиатских по происхождению динозавров не расширился далее Северной Америки, тогда как их неазиатские группы освоили не только Южную или Северную Америку, но и Палеоазию.

Но вернемся к игуанам. Разгадать тайну их расселения совсем не просто. Р.Эстес считал, что у этой группы исключитель-



Реконструкция последовательности континентальных связей в мезозое по фаунистическим данным [11, 12]. Afroamerica (выделена черным), возможно, была ареалом первичного распространения игуан (цветными стрелками указаны главные направления их расселения в меловое время).

но гондванские корни. Позднее она исчезла в Африке и Австралии, но сохранилась в Южной Америке, где также обнаружены ее позднемеловые формы. По мнению Эстеса, именно с территории этого континента на границе мезозоя и кайнозоя игуаны проникли в Северную Америку — предположительно на растительных плотках.

Однако открытие игуан в позднемеловых отложениях Азии подрывает логику Эстеса. Теперь можно допустить распространение группы не с юга на север, а в противоположном направлении, не в конце позднего

мела, а в начале, и не на плотках, а по суше. Не лишним будет заметить, что расселяться с помощью плотков могли бы отдельные виды мелких наземных животных, в том числе ящерицы, но никак не динозавры. Для этих довольно крупных животных такой способ явно не подходит. Так или иначе, но родной игуан могли стать и Северная Америка, и близкая к ней Палеоевропа. Нельзя сбрасывать со счетов и Африку, по некоторым представлениям, еще в юрское время потерявшую связь с южной группой континентов и установившую фауни-

тическое сообщение с западной частью Лавразии уже после изоляции Палеоазии [11, 12]. В этом случае родиной игуан могла стать и Afroamerica, объединявшая через Европу Африку (с Мадагаскаром) и Северную Америку, а их проникновение (в сопровождении некоторых групп американских динозавров) на территорию Палеоазии произошло вторично через Берингийский мост. Это так еще и потому, что в Азии раннемеловые игуаны не обнаружены.

Палеонтологические данные открывают возможность по-новому взглянуть и на заселение игуанами о-вов Фиджи и Тонга, куда, как считалось, они попали на растительных плотках из Южной Америки. Теперь допустимо предположить, что игуаны про-

никли на архипелаги из Юго-Восточной Азии, которая, судя по находкам динозавров, в меловое время была полуостровной частью палеоазиатской суши.

Итак, упомянутое правило выглядит результатом довольно случайного сочетания ряда исторически сложившихся обстоятельств. Впрочем, без конкуренции между агамами и игуанами все же не обошлось.

Вершина эволюции

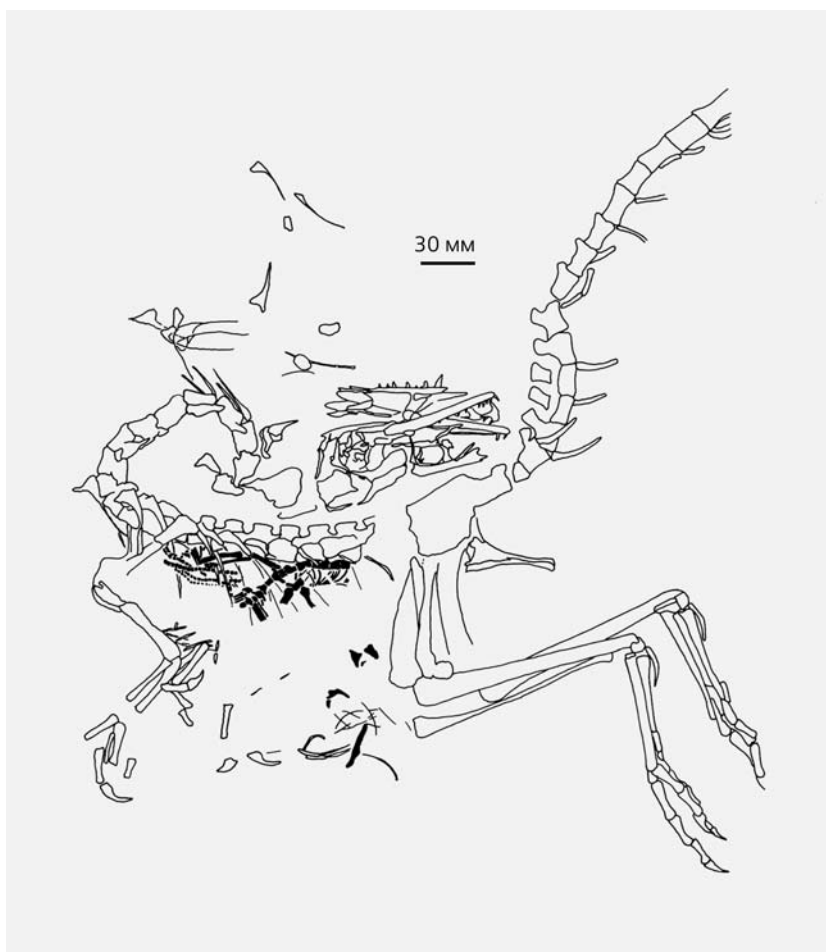
В начале позднего мела центральная часть Палеоазии представляла собой обширную низменность, куда ветер и вода сносили большие массы песка. В сезоны дождей здесь появлялось множество временных водо-

емов, берега которых быстро зарастали. На мелководьях и на берегу многочисленными становились беспозвоночные: черви, рачки, насекомые и их личинки. Ими кормились мелкие млекопитающие, птицы и ящерицы. Однако эти позвоночные и сами легко могли попасть в челюсти хищных динозавров — теропод, среди которых преобладали дромеозавры, имевшие, судя по новейшим данным, птицеобразный облик. Из них больше других известен двухметровый велоцираптор (*Velociraptor*). У него, как и у всех его ближайших сородичей, была небольшая голова, длинные и узкие челюсти, крупные передние лапы и увеличенный в размере коготь на втором пальце стопы.

Тому, что тероподы не упускали случая схватить и проглотить ящерицу, есть неопровержимое доказательство — плита литографских сланцев, на поверхности которой виден практически полный скелет компсогнаты (*Compsognathus*) с остатками баваризавра (*Bavarisaurus*) в области желудка. Трапеза динозавра, жившего в центре Европы, случилась в конце юрского периода (около 150 млн лет назад).

Существовали и такие ящерицы, встреч с которыми велоцирапторы избегали. Это крупные двухметровые эстесии (*Estesia*). С ними без труда могли справиться разве что тираннозавры. Но динозавры-гиганты сторонились гобийских низин, затапливаемых в сезон дождей, оставляя на вершине пищевой пирамиды крупных вараноидных ящериц. Они, конечно, проигрывали в скорости более маневренным и активным тероподам, но мощь и способность плавать позволяла им успешно конкурировать за пространство и пищевые ресурсы.

Сейчас среди ящериц на положении доминирующих хищников находятся только вараны о.Комодо, длина тела которых доходит до 3 м. Примерно мил-



Скелет динозавра компсогнаты из верхнеюрских сланцев Баварии с остатками ящерицы (выделены черным цветом) баваризавра в области желудка [16].

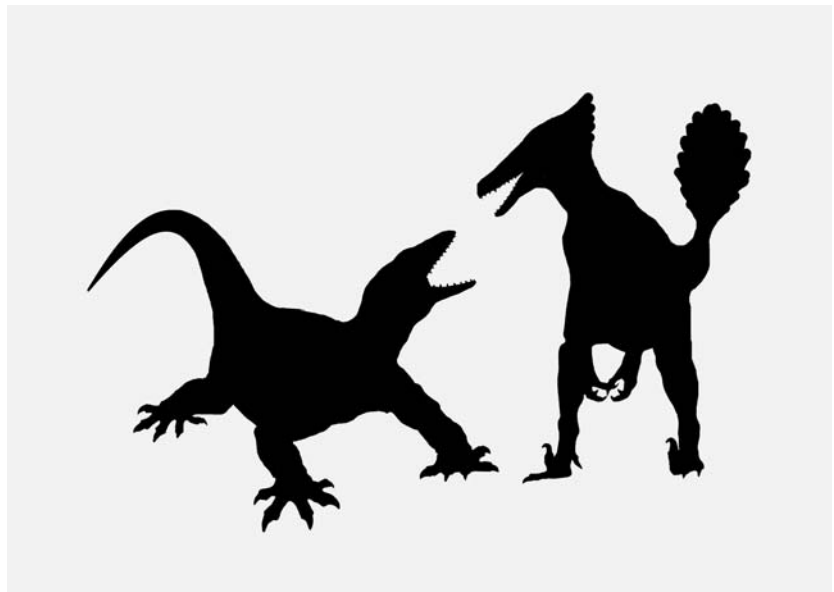
лион лет назад в Австралии ту же роль играли семиметровые мегалании. Гигантизм нетипичен для ящериц, но может сформироваться при каких-то особых обстоятельствах. Судя по условиям обитания комодского дракона и мегалании, можно предположить, что увеличение размеров стимулируется обилием пищи и отсутствием конкуренции.

Говоря о варанах, нельзя не вспомнить о том, что еще со времен Кэмпа они считаются предками змей. Эта гипотеза, получившая название платинотной (от *Platynota* — названия вараноидных ящериц в классификации Кэмпа), основана на отдельных признаках сходства двух групп. В числе таких черт упоминаются, например, длинный и подвижный язык; крупные капсулы яacobсонова органа, отвечающего за хеморецепцию; острые зубы; дополнительное подвижное сочленение ветвей нижней челюсти; обширные мышечки (выступы) тел позвонков. На самом деле все эти особенности вместе свойственны лишь представителям современных варанид (*Varanidae*), тогда как у их ископаемых и современных родственников сходство со змеями практически не выражено. Скорее, все перечисленные признаки произошли параллельно в связи с переходом варанов и змей на питание небольшими позвоночными. Кстати, челюстной аппарат вараноидных сохраняет типичные для ящериц особенности, хотя снабжен сравнительно более мощной мускулатурой. Совсем иначе обстоит дело с челюстным аппаратом змей.

Пищевая специализация большинства змей направлена на проглатывание крупной добычи. Это обеспечивается высокой взаимной подвижностью и растяжимостью некоторых внутричерепных соединений, одновременно ведущих к потере силы челюстей. Вот почему многие змеи, чтобы подавить сопротивление жертвы, предва-



Грудные позвонки современного серого варана (слева), достигающего 1,5 м в длину, и ископаемой вараноидной ящерицы (*Cherminotidae*), превышавшей 2 м (верхний мел Монголии). Экз. ПИН, №4216/206.



Силуэты варана эстесии (слева) и динозавра велоцираптора. Мощь и способность плавать позволяли крупным варанам успешно конкурировать с динозаврами за пространство и пищевые ресурсы.

рительно ее душат или кусают, впрыскивая яд. Таким образом, специализация челюстного аппарата змей и ящериц различна, и лишь по ней связать две группы отношением предки—потомки затруднительно.

Кстати, змеи, появившиеся в раннемеловое время в Северной Африке, стали обычным элементом комплексов позвоночных только в кайнозое. В мезозойских отложениях Азии по-

ка не найдено ни одной ископаемой змеи. Данная деталь отчетливо иллюстрирует, что меловые ящерицы не испытывали противодействия со стороны их самых опасных конкурентов.

Пора расцвета

Древнейшая азиатская ящерица — чангетизавр (*Changetisaurus*) из среднеюрских отло-



Остатки раннемеловых ящериц из местонахождения Хобур. В основном это разрозненные элементы скелета, среди которых преобладают челюстные кости сцинко-геккономорф.

жений Киргизии. Ее относят к парамацеллодидам (*Paramacellodidae*), вымершему семейству сцинкоморф. Парамацеллодид находят в позднеюрских, иногда в раннемеловых отложениях всех северных континентов, как и дорсетизаврид, вероятно, принадлежавших ангвиоморфам.

Многочисленными ящерицы становятся во второй половине раннего мела вместе с началом периода потепления, состоявшегося примерно 120 млн лет назад. Изменения отразились и на

разнообразии других групп позвоночных, в том числе динозавров. О расцвете ящериц того времени лучше всего можно судить по находкам из монгольского местонахождения Хобур, расположенного вблизи юго-восточной оконечности Хангайского хребта. В комплексе представлен десяток семейств, в основном вымершие группы сцинко-геккономорф. Есть в нем парамацеллодиды и дорсетизавриды. Единственная достоверно определяемая современная группа в Хобуре — гекконы [13].

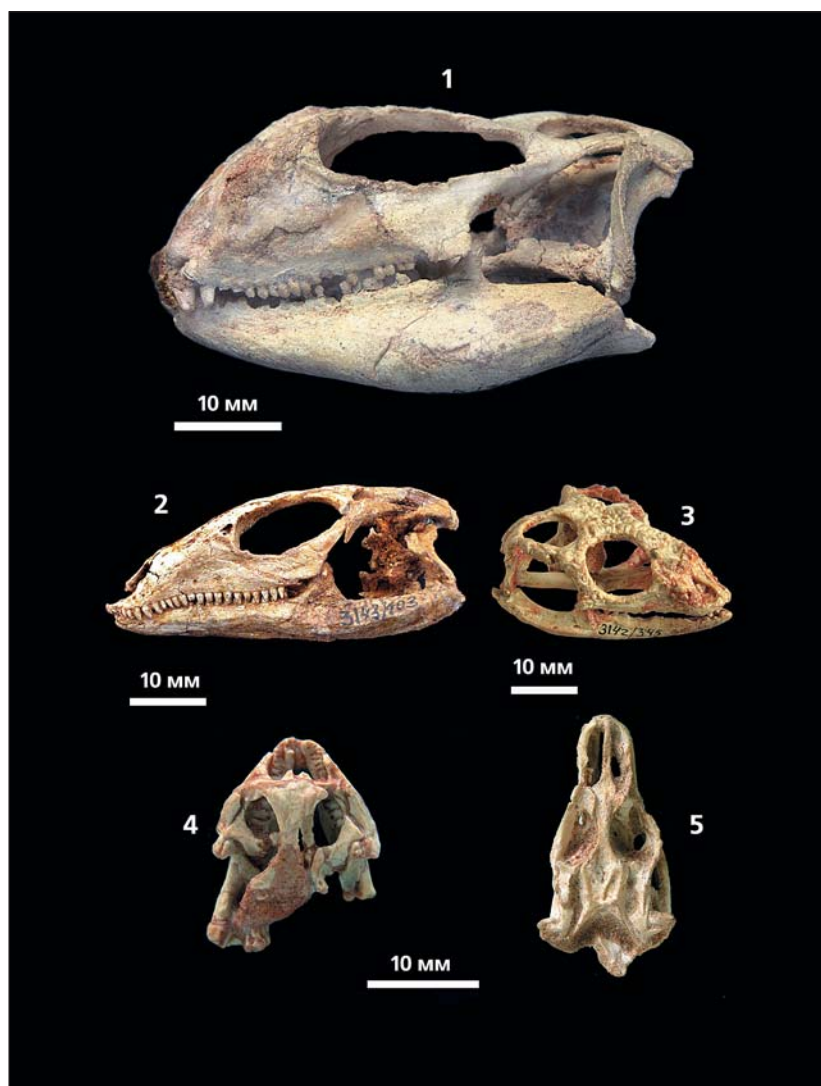
К началу позднего мела некоторые прежние семейства ящериц вымерли, но появилось много новых групп, часть из которых мигрировала из Северной Америки через Берингийский мост. Только на юге Монголии из нескольких верхнемеловых местонахождений известно 18 семейств. Такого не знает ни один регион ни в древности, ни в современности. Пожалуй, этот показатель, как никакой другой, свидетельствует об истинном времени расцвета ящериц.

Основное разнообразие позднемеловых ящериц древней Азии составляли игуании. Здесь были представлены не только все филогенетические ветви этой группы, но и близкий к современному набор жизненных форм. Так, макроцефалозавры, принадлежавшие, судя по строению нижней челюсти, агамо-хамелеоновому стволу игуаний, нередко напоминали современных крупных игуан, но обладали «клыками». У некоторых из большеголовых ящериц, как, например, у априсавра (*Aprisaurus*), их было несколько пар. Однако другие макроцефалозавры внешне походили на макротейин. Таков был джадохтозавр (*Dzbadochtosaurus*). Собственно макротейины тоже обнаружены в комплексах древней Азии, но эти ящерицы были там редки.

Следует сказать и о большом разнообразии так называемых прискагам, которые внешним видом и строением зубной системы напоминали агам с характерными для них «клыками» и уплощенными субтреугольными заклыковыми зубами. Однако ближайшие современные родственники прискагам — хоппоцерк (*Hoplocercus*) и моруназавр (*Morunasaurus*) — живут в Южной Америке и считаются игуанами. А вот у настоящего родственника агам, изодонтозавра (*Isodontosaurus*), зубы лишены явных признаков сходства с зубами современных представителей, в том числе и по характеру прикрепления.

Обычно зубную систему агам и хамелеонов относят к акродонтному типу, при котором зубы занимают на челюстных костях верхушечное положение. Иногда ящериц этих групп даже называют акродонтными игуаниями. Особый статус акродонтности придал американский ученый Э.Коп еще в XIX в. С тех пор термин прочно устоялся в литературе как один из трех основных способов прикрепления зубов у наземных позвоночных наряду с текодонтным (зубы сидят в углублениях — теках, характерен, например, для крокодилов) и плевродонтным (зубы прирастают к челюсти сбоку, как у большинства ящериц). Однако критический взгляд на особенности строения зубной системы акродонтных игуаний показывает, что зубы, которые закладываются на эмбриональных стадиях онтогенеза, прочно срастаются с челюстными костями и перестают расти. По мере увеличения индивидуальных размеров животных эмбриональные зубы становятся миниатюрными, сохраняя свое положение вблизи кромок челюстей, т.е. становятся акродонтными. Однако исходно их тип прикрепления плевродонтный, как у «кльков» (если они выражены) или постэмбрионально возникших зубов. Таким образом, типологическая особенность зубной системы акродонтных игуаний выглядит преувеличенной, что, как выясняется, привело и к недооценке разнообразия этой группы, в том числе ископаемого. Кстати, у изодонтозавра нет «кльков», эмбриональные и постэмбриональные зубы почти не отличаются друг от друга морфологически, а вот процесс сменности явно ограничен.

Новые палеонтологические находки в меловых отложениях Монголии показывают, что проблема разнообразия древних и ископаемых игуаний становится исключительно актуальной. И тут возможны некоторые неожиданные решения и подходы.



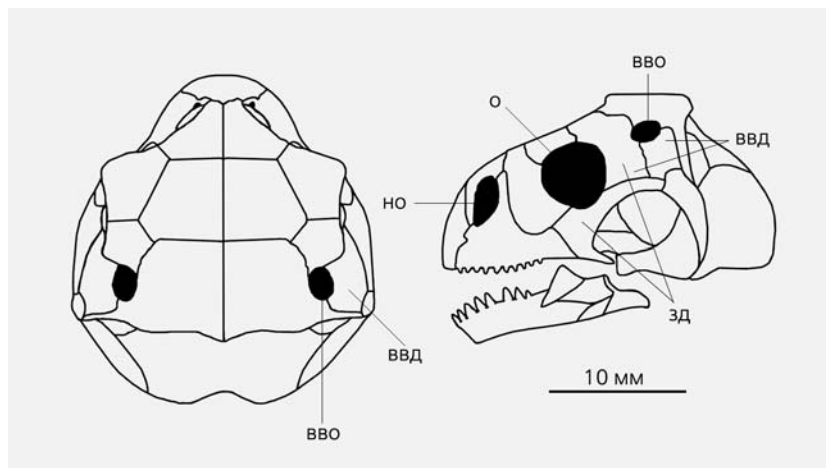
Череп некоторых поздне меловых игуаниевых ящериц Монголии:

- 1 — апризавра (*Aprisaurus bidentatus*, экз. ПИН №3142/302);
 2 — джадохтозавра (*Dzadochtozaurus giganteus*, экз. ПИН №3143/103);
 3 — хамелеогната (*Chamaeleognathus iordanskyi*, экз. ПИН № 3142/345);
 4 — изодонтозавра (*Isodontosaurus gracilis*, экз. Института палеобиологии Польской АН, MgR II/39); 5 — параварана (*Paravaranus angustifrons*, экз. ПИН № 4487/15).

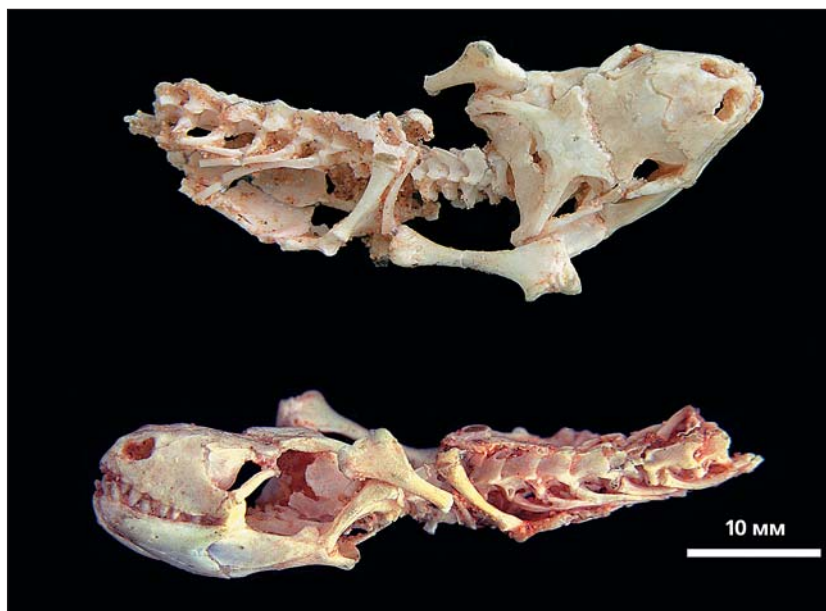
Например, рассмотрения требуют основательно забытая и выпавшая из обсуждения гипотеза о родстве с игуаниями мозазавров. Пока преобладает представление о связи мозазаврообразных ящериц с вараноидными ящерицами и со змеями, которая аппелирует к некоторым общим и возникшим вторично признакам черепа.

Кстати, к мозазаврообразным ящерицам из меловых отло-

жений Монголии относится параваран (*Paravaranus*). Как и у типичных морских ящериц, у него отмечаются удлинённые носовые отверстия и узкая лобная кость. Сближают параварана с мозазавридами и некоторые общие черты в строении костей крыши черепа и нёба. Однако в отличие от морских ящериц параваран отличался миниатюрными размерами и, скорее всего, вел наземный образ жизни.



Реконструкция черепа (вид сверху и сбоку) синеоамфисбены (*Sineoamphisbaena hexatabularis*). В отличие от других амфисбен у нее есть заглазничные (зд) и верхние височные дуги (ввд). Черным цветом показаны носовые отверстия (но), орбиты (о) и верхние височные окна (вво).



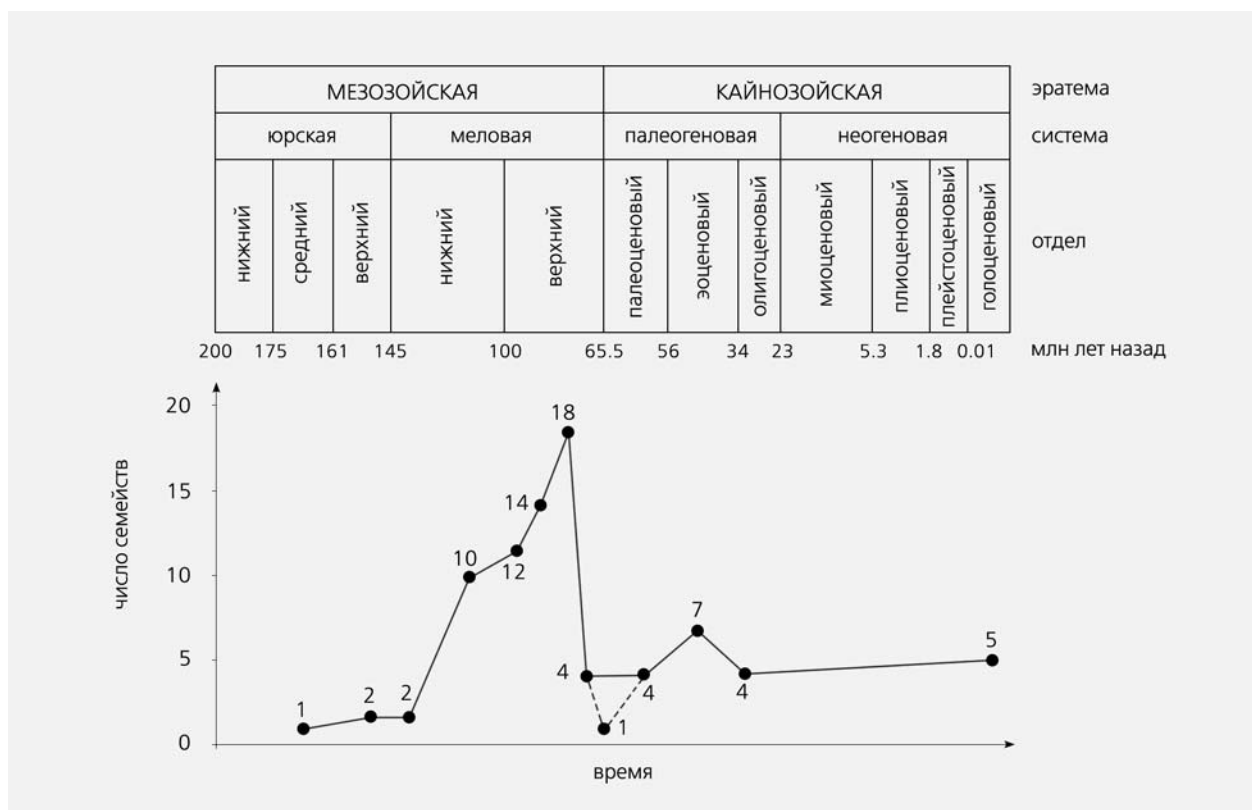
Череп и передняя часть скелета славойи (*Slavoia darevskyi*), архаичной сцинкоморфной ящерицы из верхнемеловых отложений Монголии. У славойи парадоксально сочетаются миниатюрные глазницы и хорошо развитые конечности. Экз. ПИН № 4487/14.

Итак, разнообразие мезозойских ящериц выглядит довольно внушительно. Важнейшим итогом его изучения стало представление об исключительном видовом богатстве игуаний в прошлом и о том, что таксономический ранг самой группы не уступал таковому сцинко-геккономорф [14].

Говоря о меловых ящерицах древней Азии, нельзя обойти вниманием синеоамфисбену (*Sineoamphisbaena*), описанную в литературе по находкам в верхнемеловых отложениях Внутренней Монголии (Китай) [15]. Широкая костная межглазничная перегородка, крупная мозговая капсула, раздвоенный заты-

лочный мышцелок и укороченная нижняя челюсть и ряд других признаков сближают эту ископаемую форму с амфисбенами, или двухходками. Современные амфисбены ведут скрытный образ жизни — обитают в норах, которые роют головой. Видимо, с этим связаны такие преобразования, как утрата конечностей, редукция некоторых костей крыши черепа. Однако в отличие от раннекайнозойских и современных амфисбен, у синеоамфисбены были хорошо развиты передние конечности (задние не обнаружены), а элементы верхних височных дуг напоминали эти же детали строения у ящериц, хотя и имели некоторые ограничивающие амфикинетизм особенности. И то, и другое свидетельствует об архаичности ископаемой формы, еще не достигшей совершенства в роющей специализации. Похоже, что в образе синеоамфисбены проявляются черты несомненного родства амфисбен и ящериц. Но включать первых в состав вторых нет необходимости.

Следует заметить, что в разных филогенетических стволах сцинко-геккономорф существуют формы, которые воспроизводят те или иные морфологические особенности амфисбен. Нередко считается, что подобного рода сходства возникли вторично, а первичной была наземная специализация. Однако не исключено, что исходно ящерицы вели скрытный образ жизни. В дальнейшем одни их группы освоили подземные биотопы, утратив конечности и приобретя способность рыть норы головой, а другие приспособились к наземной жизни, усовершенствовав способы передвижения и развиг зрение и слух. Примером «древнего» типа может служить сцинкоморфная славойя (*Slavoia*), которая в позднем мелу Монголии была наиболее массовой. У этой миниатюрной ящерицы сочетается, как кажется, несовместимое — незначительные размеры глазниц (т.е. крошечные глаза), поз-



Динамика разнообразия семейств ископаемых ящериц в мезозое и в кайнозое. В кайнозое наибольшее и наименьшее число семейств совпадают с периодами самых высоких и самых низких палеотемператур. Вероятно, этим же объясняются и мезозойские максимумы и минимумы разнообразия.

волительные подземным жителям, и хорошо развитые конечности, столь необходимые для наземного передвижения.

В эпоху перемен

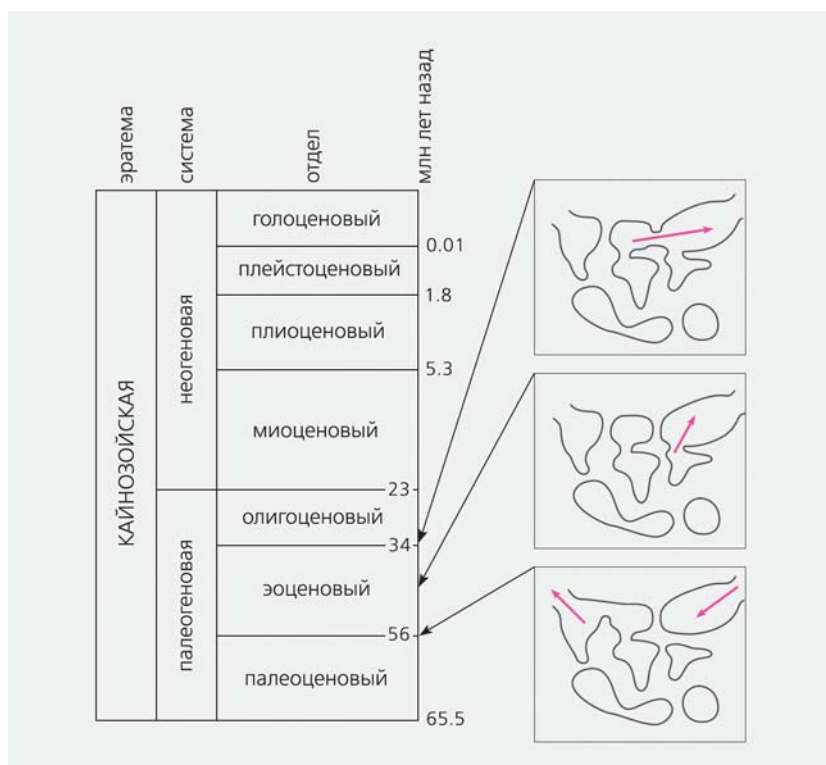
По крайней мере за несколько миллионов лет до конца мезозоя разнообразие азиатских ящериц сократилось больше чем в четыре раза. Тогда число семейств снизилось с 18 до четырех. Был еще один и более поздний кризис, который выявляется по составу раннекайнозойских групп: меловые корни только у одной из них. Таким образом, неуклонный рост разнообразия в течение юры и мела неожиданно сменился быстрым падением.

Ключом к пониманию главной причины кризиса может послужить раннекайнозойская история группы.

В начале кайнозоя в центральной части Азии ящерицы вновь оказались «на подъеме», но за счет отсутствующих в прежнее время семейств. Видимо, их заселение происходило вторично, с соседних территорий. Судя по анализу систематического состава раннекайнозойских комплексов, процесс протекал не однократно, а волнообразно в течение палеогенового периода. Первая волна пришла с северо-востока, через Берингию, из Северной Америки и связанной с ней в начале кайнозоя Европы. Вторая — с юга, из Индии, присоединившейся к Азии после меловой изоляции. Третья — западная, или европейская, — возникла после того, как Европа утратила связь с Северной Америкой, а отделявшее Европу от Палеоазии во второй половине мезозоя и в начале кайнозоя Тургайское море высохло.

Благодаря северо-восточной волне появились агамы, близкие к современной агаме-бабочке (*Leiolepis*). С южной волной прибыли неядовитые змеи, вараны современного типа и агамы, схожие с современным шипохвостом (*Uromastix*). Западная волна принесла в Центральную Азию ящериц тех родов и семейств (в том числе настоящих ящериц — Lacertidae), которые сейчас обычны в умеренных широтах Евразии.

Примечательно, что зависимость от условий окружающей среды ящерицы в кайнозое, как и в мелу, распространялись через высокоширотный Берингийский мост. Это связано с очередным потеплением, приведшим в середине первой половины кайнозойской эры (в эоцене) к установлению самого высокого для того времени температурного максимума.



Последовательность заселения (показано цветными стрелками) ящерицами Палеоазии в первой половине кайнозоя. Реконструкция межконтинентальных связей представлена по работам Н.Н.Каландадзе и А.С.Раутиана [11, 12].

На фоне потепления число семейств ящериц увеличилось с четырех до семи. Однако к концу эоцена разнообразие центральноазиатских ящериц вновь упало. Причина — хорошо известное похолодание. Оно же прямо или опосредованно привело даже к обеднению комплексов доминирующих в кайнозое млекопитающих. Скорее всего, позднемиоценовый кризис азиатских ящериц и рептилий в целом — тоже следствие одного или серии похолоданий.

Как бы то ни было, но, в отличие от динозавров, ящерицы дожили до наших дней. Спасительными для них стали небольшие размеры, способные обеспечить быструю смену поколений, облегчить приспособляемость к разным биотопам и компенсировать потери численности и разнообразия в послекризисные времена. Вероятно, именно этих качеств не хватило динозаврам в эпоху глобальных перемен на рубеже мезозойской и кайнозойских эр. ■

Работа выполнена в рамках программы Президиума РАН 25 «Происхождение и эволюция биосферы» на 2005 г. (подпрограмма 2) и поддержана грантом Президента РФ для Ведущей научной школы НШ-6228.2006.4.

Литература

1. Иорданский Н.Н. Эволюция комплексных адаптаций. Челюстной аппарат амфибий и рептилий. М., 1990.
2. Camp C.L. // Bull. Am. Mus. Nat. Hist. 1923. V.48. P.289—481.
3. Суханов В.Б. // Зоол. журн. 1961. Т.40. №1. С.73—83.
4. Estes R., de Queiroz K., Gautier J. Phylogenetic relationships within Squamata // Phylogenetic relationships within lizards families / Eds R.Estes, G.K.Pregill. Stanford, 1988. P.119—281.
5. Gilmore C.W. // Bull. Amer. Museum Natur. Hist. 1943. V.81. P.361—384.
6. Sulimski A. // Palaeontol. Polonica. 1972. V.27. P.33—40.
7. Sulimski A. // Palaeontol. Polonica. 1978. V.38. P.43—56.
8. Sulimski A. // Palaeontol. Polonica. 1975. V.33. P.25—102.
9. Estes R. Sauria terrestria, Amphisbaenia // Handbuch der Palaeoherpetologie. Stuttgart, 1983. T.10A.
10. Borsuk-Bialynicka M., Alifanov V.R. // Acta Palaeontol. Polonica. 1991. V.36. №3. P.325—342.
11. Каландадзе И.И., Раутиан А.С. Система млекопитающих и историческая зоогеография // Филогенетика млекопитающих. М., 1992. С.44—152.
12. Kalandadze N.N., Rautian A.S. Historical zoogeography of terrestrial tetrapods and new method of global palaeogeographical reconstructions // Evolution of the Biosphere / Eds Rozanov A.Yu., Vickers-Rich P., Tassel C. Launceston, 1997. P.95—98.
13. Алифанов В.П. // Палеонтол. журн. 1999. №1. С.124—126.
14. Алифанов В.П. Макроцефалозавры и ранние этапы эволюции ящериц Центральной Азии. М., 2000.
15. Wu X.-Cb., Brinkman D.B., Russell A.P. // Can. J. Earth Sci. 1996. V.33. №4. P.541—578.
16. Evans S.E. // N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 1994. Bd.192. №1. P.37—52.

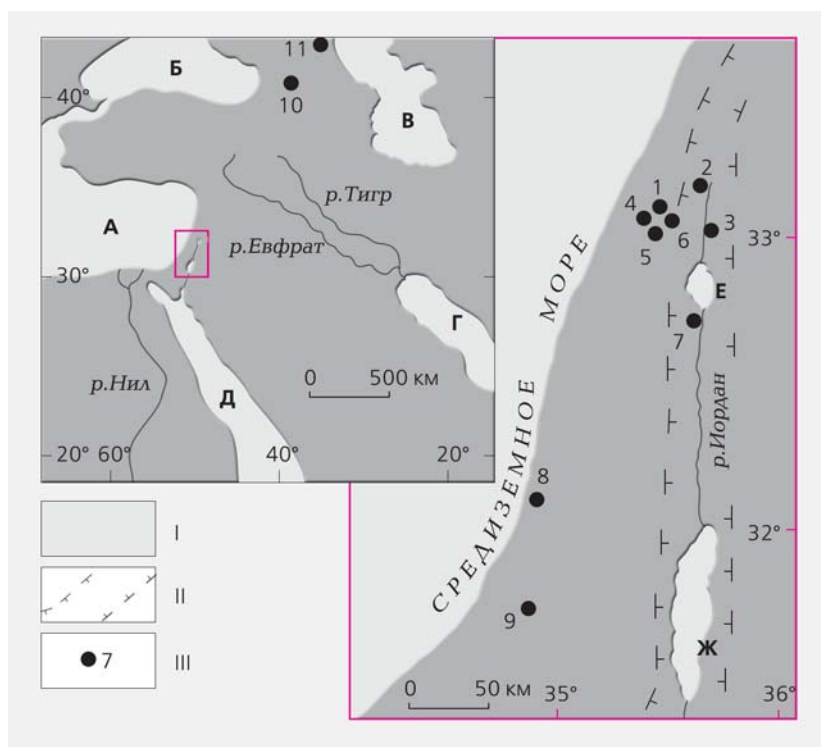
Левантийский коридор — этапы первоначального расселения человечества

С.А.Лаухин,

доктор геолого-минералогических наук
Институт проблем освоения Севера СО РАН
Тюмень

В настоящее время большинство исследователей убеждены, что единственным путем, по которому шли миграции из Африки — прародины человечества, был Левантийский коридор, расположенный вдоль зоны Иорданского рифта [1, 2]. Обычно считается, что самая древняя стоянка на этом пути — Убейдия (1.4–1 млн лет). Между тем в Евразии, к северу и востоку от этого коридора, давно известны стоянки намного древнее Убейдии: Реват (около 2 млн лет) и PS-55 (2.47 млн лет) — в Пакистане, Дманиси — в Закавказье (1.87–1.67 млн лет) [3], а совсем недавно археологические памятники, датированные 1.45–0.9 млн лет, описаны Х.А.Амирхановым в Дагестане, уже к северу от Главного Кавказского хребта [4]. Примеры памятников, которые древнее Убейдии и расположены севернее Левантийского коридора, можно существенно умножить. Возникает вопрос: либо первопроходцы через Левантийский коридор (почти миллион лет назад) не оставили там следов своих самых ранних миграций, либо были какие-то другие, более древние пути из Африки в Евразию?

Иногда этот сложный вопрос стараются обойти. Так, А.П.Деревянко [5], рисуя на карте исход из Африки через Левантийский коридор, пишет: «На рубе-



Памятники раннего палеолита, упомянутые в тексте.

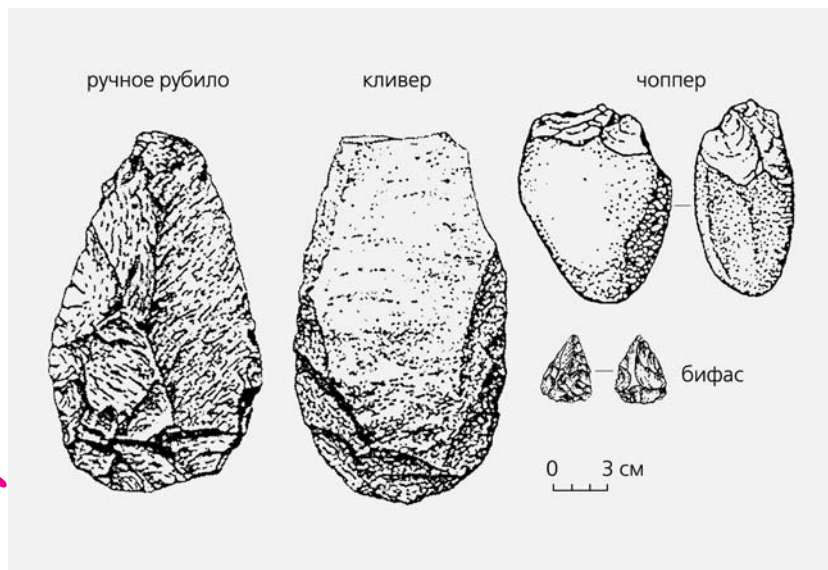
I — акватории: А — Средиземное море, Б — Черное море, В — Каспийское море, Г — Персидский залив, Д — Красное море, Е — оз.Киннарет, Ж — Мертвое море;

II — рифтовая долина р.Иордан (границы дна Иорданского рифта);

III — памятники: 1 — Ииرون, 2 — Майан-Борух, 3 — Джиср-Банат-Якоб, 4 — Барам, 5 — Дальтон, 6 — Альма, 7 — Убейдия, 8 — Холон, 9 — Бизат Рухама, 10 — Дманиси, 11 — древнейшие памятники Дагестана.

же двух миллионов лет назад человек из Африки... отправился заселять огромную территорию Евразии», но при этом он не упоминает характерные для этого коридора стоянки (ни

Убейдию, ни какой-либо другой памятник возрастом около 2 млн лет). Тем не менее следы человека в Левантийском коридоре, датированные более 2.4 млн лет, отмечались еще чет-



Характерные орудия со стоянок Джиср-Банат-Якоб (ручное рубило, кливер); Убейдия (чоппер), Рухама (бифас, пример «микролитизированной» каменной индустрии).

верть века назад [6], но в научном обиходе должного внимания не получили.

В связи с обсуждаемой темой большой интерес представляет статья А.Ронена «Древнейшие человеческие сообщества в Леванте», которая опубликована в сборнике «Палеонтология и предистория человека» [7] и посвящена 80-летию известного российского археолога В.А.Ранова. В статье рассматриваются четыре памятника палеолита в Иорданской рифтовой долине: Ииرون, Убейдия, Джиср-Банат-Якоб и стоянка Бизат Рухама, расположенная на западном плече рифта.

Артефакты памятника Ииرون залегают в красных глинах, перекрытых пластом базальтов, возраст которого по серии калий-аргоновых датировок около 2.4 млн лет. Среди немногочисленных орудий, собранных здесь в разные годы, четко выражены нуклеусы, ретушированные скребло и отщепы.

Для Убейдии — хорошо изученного памятника — характерны чоппинги, сфероиды, рубила аббевильского облика, орудия на отщепах, сделанные из изве-

стняков, базальтов и кремня, обнажения которых находятся близ стоянки; для разных орудий подбирались наиболее подходящее сырье.

В озерных глинистых песках Бизат Рухамы, датировка которых по палеомагнитным данным составляет 0.99—0.85 млн лет, залегает культурный слой этой стоянки. Использование в качестве сырья мелких галек обусловило «микролитизацию» ее каменной индустрии, а крупные конкреции и гальки кремней (хотя их выходы и расположены близ стоянки) для изготовления орудий не применялись; следовательно, «микролитизация» орудий со спецификой природной среды не связана.

Ашельская стоянка Джиср-Банат-Якоб находилась на берегу палеоозера (около 0.8 млн лет назад, на рубеже палеомагнитных эпох брунес и матуяма). В составе артефактов имеется много кливеров — рубящих орудий с поперечным лезвием; они изготовлялись как из кремня, так и из базальта. Для остальных стоянок Леванта характерен преимущественно кремний.

Итак, базальт в качестве сырья в основном использовался в Убейдии и Джиср-Банат-Якобе; его наличие возле других стоянок не привлекло внимания их обитателей (в Майан-Борухе, например, из 8000 бифасов только 40 сделаны из базальта, остальные — из кремня). Предполагалось, что обилие кливеров указывает на адаптацию к прибрежно-озерной среде обитания, но в серии прибрежно-озерных стоянок (Холон, Берчат Рам и др.) кливеры не отмечены. Видимо, появление и обитание раннепалеолитических людей на памятниках в Левантийском коридоре не связано с заметными изменениями климата, а различие каменных индустрий не связано с особенностями сырья. Наиболее вероятно, что стоянки принадлежали четырем группам пришельцев из Африки, которые в разные моменты истории обосновались в пределах Левантийского коридора, сохранив своеобразие своих культурных и технологических традиций.

Однако дальнейшие пути на север каждой из этих четырех групп остаются пока неясными. Как оказалось, орудия Иирона примитивны, трудноопределимы, и найти им аналоги в других районах Евразии пока не удалось. Многочисленные и выразительные орудия Убейдии не имеют прямых параллелей среди каких бы то ни было евразийских стоянок. Весьма своеобразны также индустрии Бизат Рухамы и Джиср-Банат-Якоба со множеством кливеров, но и их следы в Евразии не обнаружены.

Следует отметить, что находки орудий раннего палеолита в Левантийском коридоре не ограничиваются четырьмя указанными памятниками. По данным О.Бар-Йозефа, в формации эргель-ахмар известны орудия, возраст которых древнее индустрии Убейдии, но моложе Иирона. Довольно давно описаны в рифтовой долине Иордана па-

мятники раннего палеолита Майан-Борух, Барам, Дальтон, Альма и др., однако их возраст менее определенный. К сожалению, ни по времени, ни по ха-

рактеру индустрии Ронен их не сопоставляет с обсуждаемыми четырьмя памятниками, и потому они не могут помочь в решении вопроса, куда же мигриро-

вало население Иирона, Убейдии, Рухамы и Джиср-Банат-Якоба по Левантийскому коридору и мигрировало ли оно из этого коридора вообще. ■

Литература

1. Бар-Йозеф О. // Глобальное расселение гоминид. М., 1997. С.41—64.
2. Лаухин С.А., Ранов В.А., Ронен А., Волгина В.А. Ранний палеолит Израиля // Природа. 1998. №4. С.52—67.
3. Любин В.П. Homo erectus — первооткрыватель Евразии // Природа. 1997. №11. С.3—12.
4. Амирханов Х.А. В Центральном Дагестане открыты памятники раннего плейстоцена // Природа. 2007. №4. С.62—67.
5. Деревянко А.П. // Наука из первых рук. 2005. №1(4). С.18—22.
6. Brunaker K. et al. // Eirzeitalter Gegenwart. 1989. В.39. S.109—120.
7. Ronen A. // Human paleontology and prehistory. 2006. P.343—351.

Археология

Древние дороги на космических снимках

Снимок из космоса северной части Коста-Рики позволил археологам Университета штата Колорадо (США) реконструировать рельеф этого района в том виде, каким он был 2 тыс. лет назад. С помощью специальной программы для видеопроигрывателя были совершены виртуальные облеты местности и отмечены дороги, протоптанные жителями тех времен. Пробитые местами на полутораметровую глубину, они, оказавшись покрыты растительностью и несколькими слоями вулканического пепла, стали невидимы с земли. Эти дороги связывали поселения с кладбищами, что свидетельствует об одной важной особенности:

несмотря на многочисленные извержения вулкана Ареналь, нарушавшие ландшафт, жители на протяжении тысячи лет возвращались на прежние места и проходили все теми же дорогами.

La Recherche. 2007. №406. P.21 (Франция).

География

Береговая линия Франции отступает

Недавнее исследование, проведенное Французским институтом окружающей среды, показало, что значительная часть береговой линии страны (~1720 км) отступает и лишь небольшая часть отвоевывает территорию у моря. Несмотря на многочисленные меры по защите берегов, эта тенденция сохраняется уже около 20 лет. Так, берег департамента Ланды

отступает ежегодно на 2,5 м, а западный берег Ла-Манша — на 4 м (за 1947—1994 гг. он отдал морю более 200 м!).

Конечно, подвижность береговой линии — естественное явление, вызванное волнами, ветрами, течениями, — но она возрастает в результате возведения крупных инженерных построек (портов, плотин), которые изменяют направление и скорости морских течений и распределение осадков.

Science et Vie. 2006. №1071. P.34 (Франция).

Зоология

Змея защищается ядом жабы

Тигровый уж (*Rhabdophis tigrinus*), обитающий в Восточной Азии, защищается от врагов едким секретом желез, расположенных за головой на спине.

Рамейдаскет

В случае направленной на змею агрессии она выгибает шею, подставляя хищнику эту часть тела и провоцируя его на укусы.

Однако тигровые ужи не способны к выработке собственного яда. Откуда же он берется? Недавно группа японских и американских исследователей доказала, что змеи этого вида извлекают яд из жаб *Vivo quercicus*, которыми обычно питаются: у «новорожденных» рептилий яда в железах нет, но они набирают его всего за несколько дней питания жабами. Это первый отмеченный случай «похищения» яда одним позвоночным у другого.

La Recherche. 2007. №406. P.16 (Франция).

Океанология

Численные модели и наблюдения разошлись

Международная группа океанографов пришла к заключению, что воздействие глобального потепления на уровень Мирового океана недооценивается по численным моделям 90-х годов: в период между 1993 и 2006 г. средний подъем уровня океана был зафиксирован в 3,3 мм вместо ежегодных 2 мм согласно прогнозам.

Для объяснения такого несоответствия исследователи выдвинули ряд гипотез. Первая: ускорившееся таяние льдов Антарктиды и Гренландии. Но это, по мнению А.Казенав (A.Cazenave; Лаборатория исследований по спутниковой геофизике и океанографии в Тулузе, Франция), не может объяснить более чем 10%-е расхождение между прогнозом и наблюдениями; главными причинами подъема уровня остаются термическое расширение океанских вод и таяние материковых ледников. Вторая гипотеза: подъем отражает не что иное, как переходное колебание (флуктуацию),

и было бы преждевременным утверждать, что подъем продолжится.

По материалам последних моделей, подъем уровня океана может достичь 35 см от современного к 2100 г.

Science et Vie. 2007. №1075. P.38 (Франция).

Океанология

«Ноев ковчег» Антарктики

В 1995 и 2002 гг. два обширных ледовых поля откололись от Антарктического п-ова, освободив ото льда акваторию в 100 тыс. км². Под этой толщей пресноводного льда мощностью более 200 м находилась в изоляции на протяжении 10 тыс. лет удивительная экосистема, адаптировавшаяся к условиям вечной темноты и очень ограниченных пищевых ресурсов.

Международная океанографическая экспедиция, работавшая на борту германского ледокола «Polarstern» в течение летнего антарктического сезона, составила список более чем из 1000 видов, 20 из которых ранее были неизвестны. Ледяная рыба входит в список 15 видов семейства белокрытых рыб Channichthyidae (в их крови почти нет эритроцитов).

Эта уникальная экосистема колонизована асцидиями — феномен, на который будет обращено пристальное внимание исследователей в ближайшие годы.

Sciences et Avenir. 2007. №722. P.31 (Франция).

Гляциология

Темпы таяния ледников

По данным Мирового центра мониторинга ледников, штаб-квартира которого находится в Цюрихе (Швейцария), в 2005 г. горные ледники поте-

ряли в среднем еще 66 см мощности.

Уже более 25 лет гляциологи разных стран ведут постоянное наблюдение за состоянием 30 реперных ледников, которые были выбраны по своей репрезентативности в девяти горных цепях мира. За период между 1980 и 2005 г. толщина ледников в среднем уменьшилась на 10,5 м, причем процесс этот ускоряется: темп ежегодного таяния с начала 2000-х годов в 1,6 раза более значителен, чем был на протяжении 90-х годов и в три раза интенсивнее, чем в 80-е годы.

Таяние ледников напрямую касается той части населения, которая использует этот источник пресной воды для водоснабжения, ирригации, промышленности и пр.

Science et Vie. 2007. №1075. P.36 (Франция).

Экология

Рыбы и кораллы

Травоядные (точнее говоря, водорослеядные) рыбы необходимы для устойчивого восстановления побелевших коралловых рифов. По мнению Т.Хьюса (T.Hughes; Университет им.Дж.Кука, Таунсвилл, Австралия), эти рыбы ограничивают расселение водорослей. К такому выводу он пришел по итогам эксперимента, в ходе которого на отдельных участках Большого барьерного рифа были установлены решетки, препятствующие проникновению рыб. Оказалось, что в этих акваториях распространение кораллов возросло за два года лишь на 28%, в то время как в зонах открытого доступа для рыб — на 83%.

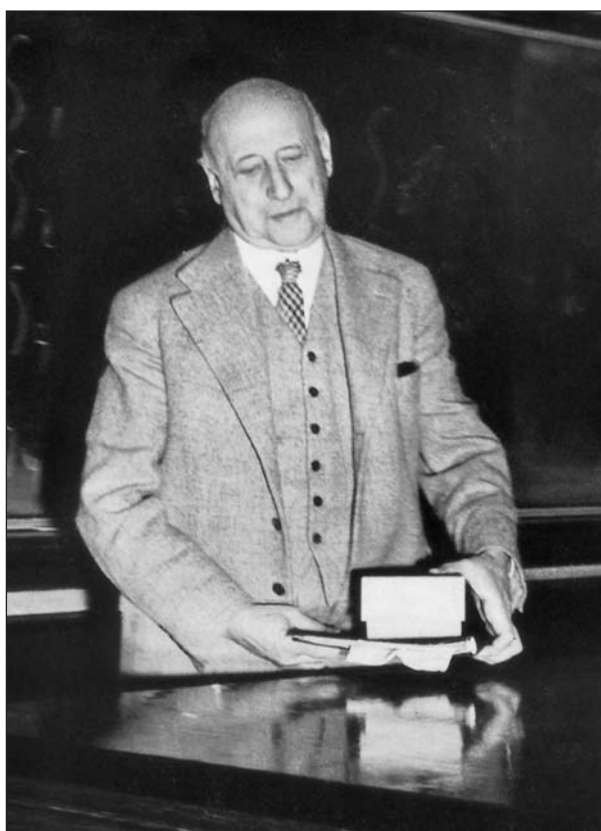
Результаты эксперимента дают дополнительный довод к запрету лова рыбы в районах, где кораллы находятся в плачевном состоянии.

Science et Vie. 2007. №1075. P.36 (Франция).

Встреча с Россией

Р.Гольдшмидт

Рихард Гольдшмидт (1878–1958) — известный немецкий зоолог, эмбриолог, генетик и эволюционист — был первопроходцем генетических исследований в Германии. Он изучал биологию в Гейдельбергском университете, стажировался в Мюнхенском зоологическом институте у профессора Р.Гертвига. По рекомендации последнего в 1899 г. получил место практиканта на Русской биологической станции в Виллафранке близ Ниццы, где познакомился и подружился с Н.К.Кольцовым. Эта дружба длилась долгие годы, она во многом определила круг научных интересов Гольдшмидта, его подход к проблемам эволюции и к организации экспериментальных исследований в области биологии развития и генетики. Вынужденный эмигрировать в США после прихода нацистов к власти, Гольдшмидт продолжил экспериментальные исследования в Калифорнийском университете в Беркли, совмещая их с преподавательской работой и трудами по теоретической биологии. В отличие от неодарвинистских представлений, согласно которым географические расы представляют собой зарождающиеся виды, Гольдшмидт на основании своих популяционно-генетических и экспериментальных работ пришел к выводу, что накопление точечных мутаций не может привести к видообразованию. Для этого нужны мутации другого типа, скачкообразно меняющие карриотип, или мутации в ключевых генах, радикально перестраивающие онтогенез. Взгляды Гольдшмидта на эволюцию и видообразование, при его жизни не получившие признания американской научной общественности, за последние тридцать лет вновь стали актуальными в связи с концепцией прерывистого равновесия, выдвинутой в 1970-х годах американскими палеонтологами С.Гулдом и Н.Элдриджем. Согласно этой концепции, на протяжении большей части времени своего существования виды не изменяются, а видообразование происходит скачкообразно, за считанное число поколений. Именно это и утверждал Гольдшмидт в работе «Материальные основы эволюции» (1940).



Р.Гольдшмидт на своей последней лекции в Беркли. 1948 г.

Ниже приводится отрывок из опубликованных в 1960 г. издательством «University of Washington Press» воспоминаний Р.Гольдшмидта «In and Out of the Ivory Tower» («В башне из слоновой кости и вне ее»). Книга писалась автором в конце его жизни, а извлеченный из нее фрагмент относится к событию 1929 г. Отсюда избирательность сохранившихся впечатлений и неизбежные неточности, которые восполняются живостью взгляда на наше прошлое.

Моя самая интересная зарубежная поездка в те годы привела меня в Советскую Россию, тогда еще таинственную страну даже для ее европейских соседей. В январе 1929 г. со звался Всероссийский съезд генетиков, и русские ученые пригласили Эрвина Бауэра, Гарри Федерли и меня участвовать в работе съезда и сделать доклады. Я одолжил у друга, который до войны жил в России, тяжелую меховую шубу, и мы все втроем отправились в Ленинград. Германский генеральный консул, Цехлин, образованный и утонченный профессиональный дипломат, предложил нам остановиться в роскошном посольском особняке, сохранившемся с имперских времен, что обещало не только приятную компанию, но и такие редкие удобства, как комната с ванной.

Ленинград являл собой унылое зрелище. На знаменитой торговой улице Невский проспект был открыт один-единственный государственный магазин со скудным набором товаров первой необходимости. Все остальные магазины были закрыты, их витрины заколочены досками. Прохожие выглядели очень бедными и несчастными. Но здесь были прекрасные музеи, с которыми мы могли познакомиться. Мы побывали в Зимнем дворце и Эрмитаже, с их великолепными собраниями картин и скульптур и почти невероятной роскошью; эти музеи были доступны для всех и всегда заполнены толпами правящего пролетариата, жадно слушающего объяснения официальных экскурсоводов, в основном женщин. В цокольном этаже экспонировалось уникальное собрание так называемого скифско-сибирского искусства, и это было подлинное открытие. В другом музее было выставлено изумительное собрание икон, начиная с ранневизантийских.

Благодаря любезности наших коллег мы смогли повидать многие интересные начинания Советского правительства, особенно учебные заведения, в которых отобранные представители и представительницы множества народов России готовились к карьере политических лидеров. Знаменитая императорская опера была теперь народным театром, куда пускали всех. Нас пригласили на представление «Лебединого озера» Чайковского, и было странно наблюдать, как прежний императорский балет исполнял свои классические танцы перед классово сознательной пролетарской публикой. Несмотря на полный переворот во всех видах искусств, очевидный в живописи, литературе и архитектуре, в хореографии лишь старомодный балет мог привлечь внимание зрителей. Позже в Москве я видел совершенно иной спектакль. Хотя это также был классический балет в отношении хореографии, сам спектакль, «Красный мак» Глиера, был по тематике чисто пропагандистским и описывал освобождение китайских «наемных рабов» россий-

ским флотом. Однако постановка и хореография были столь прекрасны, что можно было полностью отвлечься от примитивности политической тематики.

Если уж зашла речь о политической ангажированности, я должен упомянуть о поразительном кинофильме «Саламандра», который я видел в Ленинграде. За два года до этого произошла научная трагедия, о которой помнит большинство биологов. Профессор Каммерер, работавший в Вене, выступил с сенсационным утверждением, что ему удалось доказать наследование приобретенных признаков*. Хотя он сделал немало интересных работ, обычно считалось, что его данным не следует слишком доверять, и даже высказывались утверждения, что некоторые из его данных фальсифицированы. Я сам видел его лабораторию в Вене, и у меня осталось неблагоприятное впечатление от того, как проводились его экспериментальные исследования.

Одно из его утверждений состояло в том, что воздействием внешних условий ему удалось получить темную окраску мозоли большого пальца у одного вида жаб, у которых обычно этот признак отсутствует, и эта окраска в результате особых условий разведения стала передаваться потомству. Такая темная мозоль якобы была окончательным доказательством утверждений Каммерера. В его коллекции был заспиртованный экземпляр жабы с прекрасно видной темной мозолью. Этот экземпляр изучил американский профессор Нобль, и он обнаружил, что мозоль была получена инъекцией туши. Так и не было окончательно выяснено, что произошло на самом деле. Каммерер утверждал, что его специально подставили, но это кажется маловероятным.

К тому времени биологическая наука единодушно отвергла наследование приобретенных признаков, но у советского правительства было свое мнение на этот счет. Какой-то фанатик пришел к выводу, что марксистское учение требует наследования приобретенных признаков. Идея состояла в том, что пролетариат, если предоставить ему эту возможность, приобретет эти замечательные признаки, его потомство унаследует их, что будет способствовать процветанию пролетарского государства. (Этим людям почему-то не пришло в голову, что эту догму можно повернуть другой стороной для доказательства биологического превосходства старой аристократии.) Когда Каммерер, главный проповедник этого так называемого ламаркизма, был уличен в фальсификации, советское правительство предложило ему место профессора в Москве. Он принял это приглашение, но незадолго до назначенного отъезда из Вены совершил самоубийство.

* На заре своей жизни наш журнал отметил это событие. См.: Каммерер П. К вопросу о наследовании приобретенных признаков // Природа. 1912. №2. С.239—278. — *Примеч. ред.*

По этой трагической истории был снят пропагандистский фильм*. Автором сценария был нарком образования Луначарский, сам снявшийся в нем; роль главной героини играла его жена. Жабу заменили саламандрой. Главный герой, прообразом которого служил Каммерер, изображался великодушным идеалистом, народолюбцем и, как должен был догадаться зритель, коммунистом. Зловещий священник, главный злодей, обманом уговаривает героя взять к себе в ассистенты своего подручного, немецкого князя, притворяющегося ученым. Этот человек тайно впрыскивает краску в препараты профессора. Затем в университете устраивается большое ученое собрание, на котором герой фильма должен представить свои доказательства правоты ламаркизма, пролетарского учения, ненавистного церковникам и аристократам. Он произносит блестящую речь и показывает свои препараты. Когда заканчивается доклад, один из профессоров, его недруг, берет препарат, опускает его в воду, и вся краска растворяется. Ученого с позором изгоняют из университета. Живя в нищете и бродя по улицам с шарманкой и мартышкой, он, наконец, решает покончить с собой. Но Луначарский, узнав о судьбе профессора, посылает одного из своих бывших учеников вывезти его в Россию. Тот приезжает как раз вовремя, чтобы спасти героя от самоубийства и с триумфом доставить его в Советский Союз, страну свободных людей.

На том же съезде присутствовал никому не известный тогда агроном Лысенко, которому вскоре невероятным образом удалось убедить большевистских вождей и самого Сталина, что научная генетика, отвергавшая учение о наследовании приобретенных признаков, — это дьявольское контрреволюционное изобретение. Затем он заменил ее своим собственным, отчасти мистическим учением, основанном на «фактах», поставляемых его запуганными сотрудниками. Хорошо известно, как Лысенко при покровительстве Сталина, которого он восхвалял как «нашего учителя, преобразователя природы», стал диктатором в области генетики и сельскохозяйственной науки; как он ликвидировал лучших генетиков или лишил их возможности работать; как он разгромил научные исследования и преподавание этой великой науки и превратил советскую биологию в пошмище в глазах всего мира. В течение двадцати лет этот бред безропотно принимался всеми поработанными странами и превозносился коммунистической прессой как советская биология.

Съезд генетиков в Ленинграде был необычайно интересным. Мне никогда прежде не приходилось видеть такого искреннего энтузиазма. Огромные залы были переполнены слушателями, а работы, доклады и обсуждения отличались

очень высоким уровнем. Я с огромным удовольствием общался со многими моими старыми друзьями-учеными и познакомился с младшим поколением убежденных большевиков. Мои коллеги, принадлежавшие к старшему поколению, из которых лишь очень немногие приняли новую коммунистическую веру, по-прежнему занимали свои научные посты, но им приходилось быть крайне осторожными. Их частная жизнь в крохотных комнатных квартирах была безрадостной, и большинство из них дни и ночи трудились в своих лабораториях, поскольку вне этих стен жизнь была слишком гнетущей, чтобы доставлять удовольствие. Правительство выделило этим ученым специальные суммы для приема иностранных гостей, и поэтому мои друзья смогли встретить меня неким подобием старинного русского гостеприимства. Застолья в маленьких, перенаселенных и обветшавших жилищах, обычно состоявшихся всего из одной комнаты, представляли собой самые изысканные праздники кулинарного искусства. Горы редчайшей, самой дорогой пищи, превосходно приготовленной, запивались реками водки и крымских вин. Радость хозяев и гостей, которые все подряд знавали лучшие времена и все еще сохраняли учтивость, обаяние и эрудицию, присущие русским интеллигентам, порадовала и нас — наше присутствие позволило им устроить этот праздник в их не слишком разнообразной жизни.

Среди интересных экскурсий, в которых мы смогли принять участие, одна была особенно приятной. Это была поездка в Царское Село в качестве гостей Красной Армии. На станции нас встретили сани с казаками в роли возниц. В сани были впряжены знаменитые орловские рысаки, порода, прежде украшавшая императорские конюшни; эти огромные, нервные животные неслись с невероятной скоростью по замерзшему снегу, когда их возницы состязались друг с другом. Нам показали Летний дворец**, великолепный образец архитектуры итальянского барокко, обставленный роскошной старинной мебелью, гобеленами и люстрами, в те времена национальный музей; в годы Второй мировой войны он был разрушен. Последний царь не любил этот пышный дворец и построил поблизости скромную виллу, интерьер которой ясно демонстрировал упадок некогда великой династии правителей. Все стены были сплошь завешены невероятным количеством дешевых икон, а гостиные украшены безделушками наихудшего сорта, в том числе картинками, вырезанными из газет и наклеенными на стены. Повидав это место, легко понять трагическую переписку между Николаем и его царницей и фантастическую зависимость их обоих от Распутина.

* Фильм режиссера Г.Рошала «Саламандра» по сценарию А.Луначарского и Г.Гребнера вышел в прокат в 1928 г. В нем снимались Н.Розенель, А.Луначарский, Н.Хмелев и др. — *Примеч. перев.*

** Подразумевается Екатерининский дворец, возведенный в середине XVII в. под руководством Б.Растрелли. В нем находилась знаменитая янтарная комната. — *Примеч. перев.*

Из Ленинграда мы отправились на неделю в Москву. Я остановился в комнате, которую мой друг, великий биолог Н.К.Кольцов, занимал в своей лаборатории. Его самого не было в городе, и я подозреваю, что он уехал намеренно, чтобы не навлечь на себя подозрений, поскольку он находился под плотным надзором тайной полиции.

Я впервые встретился с этим прекрасным ученым, обаятельным и культурным человеком, будучи молодым студентом, работавшим в русской лаборатории морской биологии в Виллафранке, и мы подружились на всю жизнь. Как все интеллигентные русские, при старом режиме Кольцов был либералом. Обладая некоторыми средствами, он мог подолгу бывать за границей; его часто можно было встретить в разных западноевропейских лабораториях — в Неаполе, Гейдельберге, Мюнхене и Роскофе, и всюду он был желанным гостем. В конце концов он стал профессором в Москве и составил себе репутацию превосходной исследовательской работой.

В первые годы советской власти он оказался в скверной ситуации, причем не по своей вине*. Когда белый генерал Деникин шел походом на Москву, он составил список видных людей, которых он собирался поставить во главе государства, и Кольцов был одним из них. Деникин был разбит, список найден, Кольцова арестовали вместе с остальными и приговорили к смерти. В конце концов его помиловали, потому что, как было сказано, слишком многие и так уже казнены. Находясь в тюрьме, он ухитрился ежедневно проводить точные измерения своего метаболизма, тщательно следя за изменениями, вызванными тюремным питанием и такими душевными потрясениями, как смертный приговор и помилование. Впоследствии он примирился с большевиками и держался совершенно вне политики. Со мной он лишь однажды заговорил на эту опасную тему, находясь в гостях у меня в Берлине. Он сказал, что он и его жена, которая была очень богата прежде, чувствуют себя намного счастливее теперь, когда они бедны.

Кольцову удалось создать первый и лучший в России исследовательский институт экспериментальной биологии и центр генетических исследований. Но, несмотря на его официальное положение, за ним всегда внимательно следили, и с ним часто случались неприятности, например, когда он составлял родословные знаменитых русских людей вроде Пушкина и честно отметил, что они были непролетарского происхождения. Много раз за рубежом ходили слухи, что ему грозят серьезные неприятности, но ему как-то удавалось сохранить свой пост. Когда в 1927 или 1928 г. группа ведущих русских ученых была послана в Берлин на неделю российской науки, он возгла-

вил эту группу и очаровал всех. Тогда я встретился с ним в последний раз. Всего за несколько лет до его смерти над его головой снова собрались тучи. Я упоминал об интригах против генетики, затеянных селекционером растений Лысенко. Когда этот фантастический невежда победил, Кольцов был вынужден закрыть свою генетическую лабораторию. Должно быть, его дела стали совсем скверными, так как он перестал отвечать на мои письма, и это означало, что переписка с заграницей ставила его под подозрение. Это просто чудо, что в эпоху чисток и казней он умер своей смертью. Я горжусь тем, что такой человек был моим другом всю свою жизнь.

Комната Кольцова была опрятной и просторной, что примечательно, так как жилищные условия в то время были ужасными. Старый профессор Навашин, например, один из классиков ботаники, ночевал на кровати за занавеской в своей лаборатории, и это было все, чем он обладал в конце жизни, несмотря на все свои заслуги. Другой хорошо известный ученый занимал одну половину комнаты со своей семьей, а за занавеской в другой половине комнаты жила еще одна семья. Новое жилищное строительство началось только в 1929 г., и ныне современный крупный город тогда выглядел не обновлявшимся с царских времен. Дома обветшали, и город казался довольно мрачным. На улицах почти не встречалось автомобилей, а трамваи были переполнены.

Но еда, похоже, была в изобилии. Один рынок, еще в царской России славившийся деликатесами, вновь открылся и был битком набит бочками икры и грудями осетрины. Когда мне захотелось купить немного икры, чтобы привезти домой, и я колебался, какой из множества сортов предпочесть, мне предложили попробовать по полной ложке каждого сорта; в США столько икры стоило бы кучу денег. Предприятия общественного питания были немногочисленны, и лишь однажды мы ужинали не дома у наших друзей, а в большой гостинице, предназначенной для иностранцев. Как только мы уселись за столик, некий молодой человек устроился за соседним столиком и начал читать газету. Разумеется, он был агентом тайной полиции, но понимал ли он немецкую речь?

Нам посчастливилось получить разрешение посетить Кремль, который тогда был закрыт для посторонних. На ступеньках одного из многочисленных зданий сидела пожилая дама, греясь на полуденном солнце. Это была Клара Цеткин, некогда неистовая и бешеная руководительница коммунистической партии Германии, приехавшая провести остаток своих дней в большевистском раю. Рядом с ней стоял председатель правительства Рыков в тяжелой меховой шубе и шапке, и они тихо беседовали... ■

* Далее идет весьма вольное описание причин реальных репрессий, которым подвергался Н.К.Кольцов. — *Примеч. ред.*

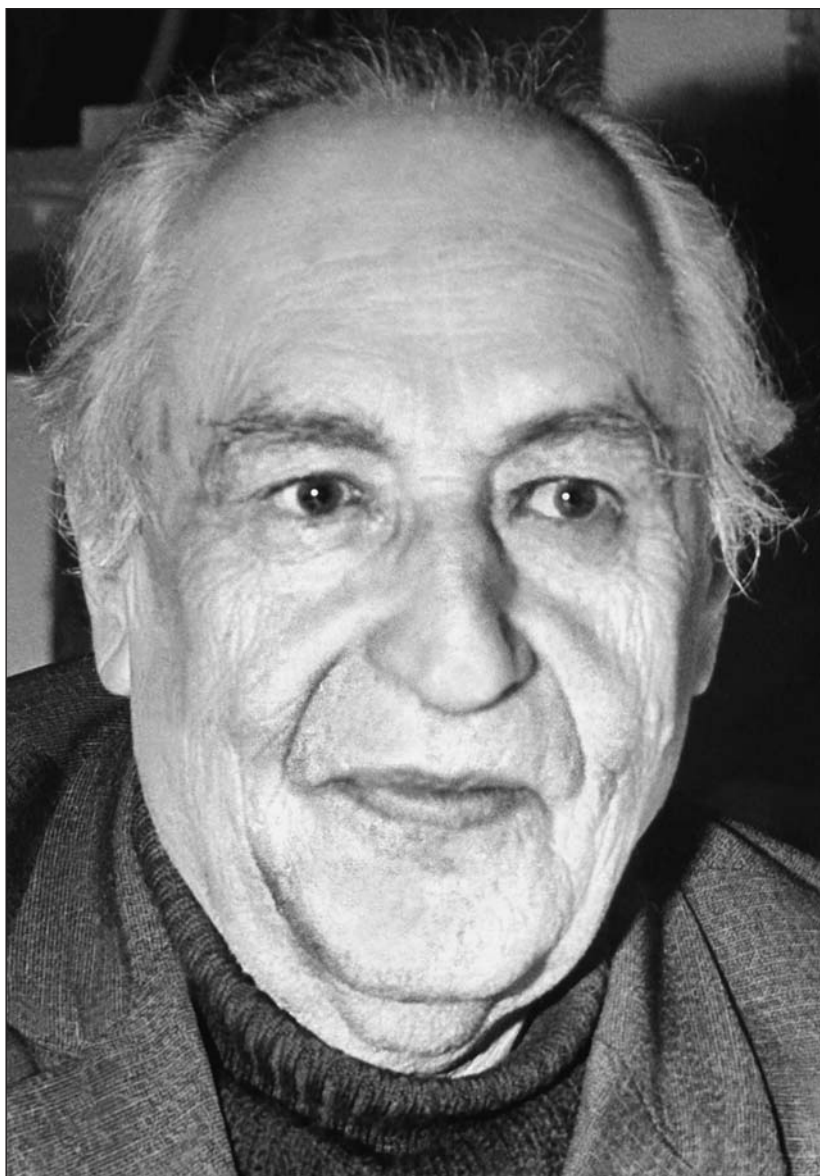
«С головой ученого и душой художника»

К 100-летию К.А. Бродского

С.Д. Степаньянц,
кандидат биологических наук
Зоологический институт РАН

Передо мной толстая папка из архива Зоологического института (ЗИИ) с традиционным названием «Личное дело» и еще папки с разными бумагами — оригиналами и копиями, документами и справками, а также альбомы с множеством фотографий, заботливо собранных и сохраненных семьей. Сейчас эти папки не имеют практического смысла, сейчас они всего лишь достояние истории. А было время, когда от формальных бумаг, от того как они составлены, зависела судьба, а подчас и жизнь человека... Они несли надежду, которая иногда сбывалась, а иногда и нет... Потом эти бумаги хладнокровно подшивались в «Дело», в том числе и того человека, о судьбе которого мне захотелось написать в связи со 100-летием со дня его рождения.

Я начала работать в ЗИИ, в отделе гидробиологии в 1956 г., когда Константин Абрамович Бродский, профессор, известный и уважаемый зоолог-планктолог, был здесь уже давно. К тому времени он заведовал отделением низших ракообразных и планктона. Меня же взяли на работу в отделение кишечнополостных в качестве лаборанта, на место, с которого ушла в декрет его жена Наталия Семеновна Бродская (Спирина), ожидавшая дочь, тоже Наташу (как мы впоследствии говори-



Константин Абрамович Бродский (1907—1992).

Здесь и далее фото из семейного архива

© Степаньянц С.Д., 2007



У трапа дизельэлектрохода «Лена». Слева направо: А.П. Андрияшев, К.А. Бродский и П.В. Ушаков. Антарктида. 1956 г.

ли — Наташу-маленькую, которая по сей день работает в лаборатории паразитологии ЗИНа).

Собственно говоря, тому, что я оказалась в ЗИНе, обязана я была многим людям, но в первую очередь — Константину Абрамовичу Бродскому, Павлу Владимировичу Ушакову и Анатолию Петровичу Андрияшеву. Они содействовали моему «проникновению» в святая святых зоологии по просьбе моего дядюшки, геолога Михаила Григорьевича Равича, которого связывала с ними работа в Институте Арктики, совместные рейсы в Антарктиду и попросту полярная дружба. Меня определили на разборку огромных коллекций беспозвоночных, собранных во время одного из антарктических рейсов так называемых САЭ (Советских антарктических экспедиций) на дизельэлектроходе «Обь». Эта работа стала моими первыми университетами на ниве зоологии беспозвоночных и определила всю дальнейшую жизнь, а не только научные интересы.

Несмотря на то, что конкретные интересы формировались

под влиянием моих непосредственных шефов — Доната Владимировича Наумова и Владимира Михайловича Колтуна, Константин Абрамович и Павел Владимирович, считая себя моими гарантами, пристально следили за моим разборочными успехами... Когда же настало время выбрать объект серьезных исследований и я, по совету Доната Владимировича, выбрала сифонофор, Константин Абрамович, будучи планктологом, направлял мои исследования в этой области. Я очень считалась с его мнением. Закончив таксономическую часть работы, я продолжила ее фаунистический и биогеографический разделы под неустанным вниманием и курированием Бродского. Вполне понятно, что сейчас, вспоминая с теплым чувством своих ЗИНовских учителей, в первую очередь я называю Наумова и Бродского: «Донат Наумов — мой учитель, а также Бродский Константин».

Будучи всю жизнь на семейном поприще Софой, в ЗИНе я приобрела имя Соня, чем ввергла в недоумение своих западных

коллег, поскольку на Западе это два разных имени... В православии оба «nicknames» сводятся к одному имени — к Софии, что означает «мудрость», и это меня вполне устраивает... Соней меня стали называть стараниями Бродского, поэтому он еще и мой «крестный отец».

В моей памяти хранится много теплых воспоминаний о Константине Абрамовиче... Вот уже больше месяца я думаю о нем, перебирая архивные документы и готовя публикацию, посвященную юбилею этого неординарного человека. И теперь, в преддверии дня его рождения, у меня сложилась картина его необычной жизни, его творчества, как научного, так и художественного (художником он был в буквальном понимании этого слова)...

Родился Константин Абрамович Бродский 29 апреля 1907 г. в Женеве, где, спасаясь от политических преследований, жили его родители. Отец — Абрам Львович Бродский — протистолог, преподаватель Московского городского народного университета им.А.Л.Шанявского, один из московских преподавателей, решивших покинуть Москву и уехать в Туркестан для организации там (в Ташкенте) Среднеазиатского государственного университета. Позже Абрам Львович стал ректором этого университета. Мать, Елизавета Григорьевна Григорьева, закончила Бестужевские курсы, затем работала лаборантом в Среднеазиатском университете, но в дальнейшем посвятила себя семье и в основном жила интересами мужа. Она сопровождала его во всех экспедициях, поддерживая на должном уровне быт и здоровье всех участников. Вот как пишет о ней сын: «Моя мать повторила подвиг спутниц жизни знаменитых путешественников — Е.Корженевской, О.Федченко и Е.Козловой-Пушкаревой».

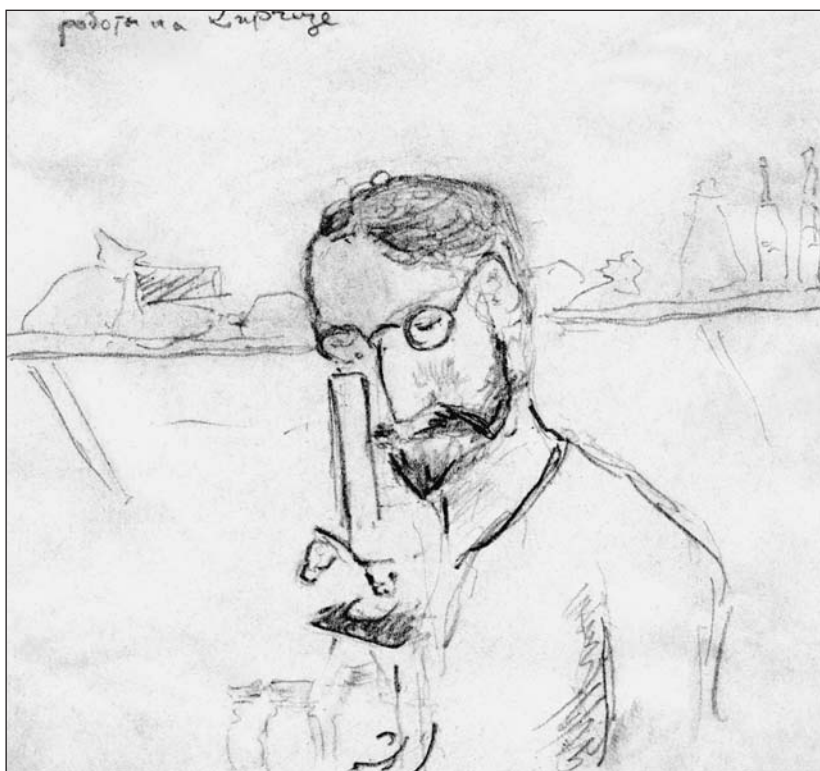
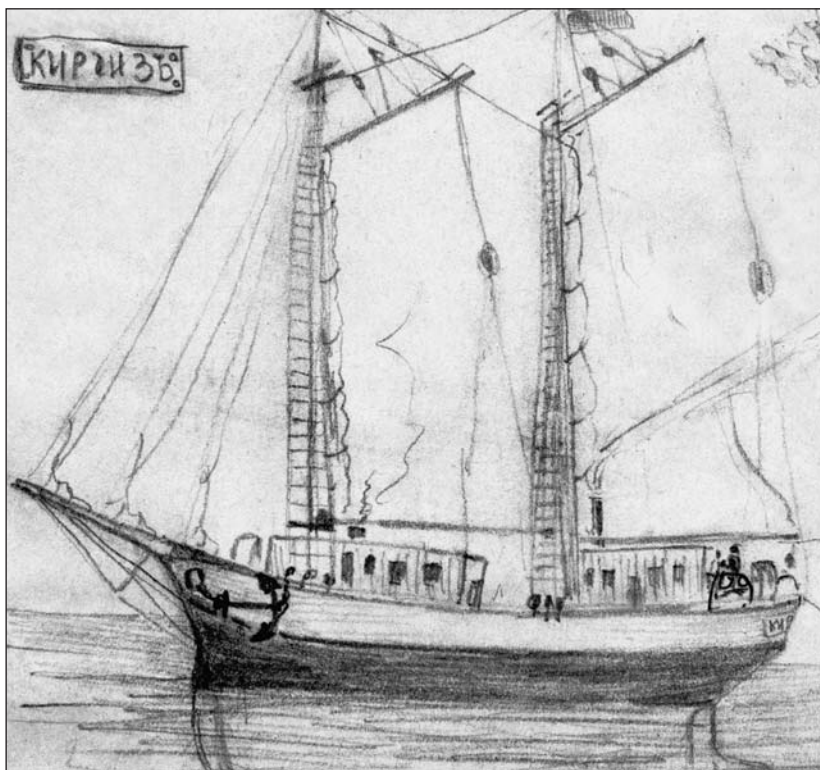
К поездке из Москвы в Ташкент готовились тщательно — собирали книги для универси-

тетской библиотеки, лабораторное оборудование, канцелярские принадлежности, не говоря уж о лекарствах и пище в дорогу. В Москве оставляли все — мебель, посуду и прочие принадлежности быта. Экипировка поезда должна была предусматривать такие непривычные вещи, как «буржуйка» для отопления вагонов. Вспоминая сборы, Бродский писал, что в дороге надо было иметь даже кочергу. Достали ее с трудом, в обмен на... старинный шкаф красного дерева.

Население «поезда науки», в котором много месяцев московские преподаватели и их семьи добирались из Москвы до Ташкента, познало все испытания долгого путешествия по разрушенной голодной стране, где никто и ничем не мог помочь им в возникающих трудностях — сами добывали и «оживляли» паровоз для эшелона, в котором ехали, заполняли его водой и топливом, которые сами же находили, даже сами прокладывали рельсовый путь по льду р.Урал, в объезд взорванного моста, сами же обеспечивали себя едой, стреляя ворон и сусликов. Ошеломительным для путешественников стало появление белого хлеба и баранок в Сызрани и верблюдов под Самарой...

Косте Бродскому было тогда 13 лет. Он вел дневник в виде маленьких зарисовок, сопровождаемых короткими записями. Наверняка талант художника проявился у него раньше, но эти зарисовки — документально свидетельство.

В те времена в Аральском море было еще много рыбы... Московские ученые, не успев прийти в себя после мучительного путешествия, осознали, что голодающему Туркестану можно помочь исследованиями на этом море. Рыба могла стать не только пищей, но и... (как туманно предполагали...) материалом для паровозного топлива... Была организована экспедиция на Арал и в приустье Сырдарьи. Должно



Карандашные рисунки 13-летнего Кости Бродского: экспедиционный бот «Киргиз» и портрет отца за работой в лаборатории.



В период работы в Арктическом институте (Ленинград).

быть, нынешним исследователям Арала будет интересно узнать, что в 1924 г. площадь этого озера составляла 65 тыс. км². Отец взял с собой и жену, и маленького Костю, для которого это была первая экспедиция. В воспоминаниях он пишет: «...я должен был исполнять свои обязанности особенно добросовестно, так как отец относился ко мне строже, чем к другим. Через всю свою жизнь я пронес благодарность за то, что он не побо-

ялся приучить меня к самостоятельной экспедиционной работе с раннего возраста». Вторая половина экспедиции началась для Кости с того, что ему одному (в 13-то лет!) пришлось отправиться на ихтиологический стационар у пустынного берега оз. Каратерень (Черная глубина). Добраться туда можно было только на верблюде... Зная по-казахски лишь два слова — «деньги» и «верблюд», он нанял двух верблюдов (для себя и для хозяина животных) и вскоре достиг станции и приступил к работе в должности коллектора...

Затем были экспедиции на Центральный Тянь-Шань, Ферганский хребет, от низовья к истокам р. Яссы. Это была самая длительная экспедиция, в которой все, включая Константина Бродского, были первопроходцами, отчасти повторившими экспедиции зоологов XX в. — П.П.Семенова-Тяньшанского, Н.А.Северцова и др., но и посетившими места, в которых не бывал до них никто... Особый интерес представляла фауна горных рек, о которой ничего не было известно до 1924 г.

Детство и юные годы Кости Бродского прошли в Ташкенте, где он закончил школу и поступил в Среднеазиатский универ-

ситет, завершив в нем образование в 1929 г. Ему было выдано «Свидетельство» — вот оно у меня в руках, где значится, что «гражданин Константин Абрамович Бродский... окончил курс... по Биологическому Отделению, по специальности Зоология беспозвоночных и гидробиологии Физико-Математического факультета». Здесь же, в «Свидетельстве», значится, что К.А.Бродский подвергся испытаниям в Государственной квалификационной комиссии и защитил работу на тему «Материалы к познанию фауны беспозвоночных горных потоков Средней Азии I, р.Иссык I».

Таким образом, если судить по заключению Государственной квалификационной комиссии, Бродский получил *carte blanche* для продолжения научной деятельности. В 1930 г. он поступил в аспирантуру «университетского типа» ЗИНа по специальности гидробиология, но под руководством энтомолога А.В.Мартынова. В 1933 г. Константин Абрамович закончил аспирантуру, показав себя, по словам академика С.Зернова, «способным и не боящимся трудностей, сложившимся самостоятельным работником, зоологом, гидробиологом. <...> За работу по фауне горных рек в Средней Азии и за еще 11 других работ К.А.Бродскому была присуждена степень кандидата биологических наук, без защиты диссертации». Затем Бродский был направлен на Дальний Восток, где самостоятельно создал гидробиологический сектор при Дальневосточном филиале АН СССР.

Как патриот и теперь уже ветеран ЗИНа, не могу отказать себе в удовольствии привести несколько выдержек из рукописных воспоминаний Константина Абрамовича о том, какая обстановка царил в ЗИНе в 30-х годах прошлого столетия. «Вход в Зоологический музей был с Таможенного переуллка, рядом с музеем этнографии. В вестибюле тепло, служитель знал



В кабинете за микроскопом. 1966 г.

всех, при входе брал пальто. <...> Рядом пассажирский лифт. Кабина лифта была отделана красным деревом, с двумя низенькими диванчиками, обитыми зеленой кожей. Лифт бесшумно поднимался до входа в коридор музея. По всей длине коридора — ковровая дорожка, шагов не было слышно. Справа — шкафы с коллекциями, отделенные от коридора стеклянной перегородкой, не доходящей до верха. Слева — кабинеты. <...> Директор Музея — А.А.Бялыницкий-Бируля каждое утро обходил всех сотрудников музея, говорил всем «доброе утро», а если кто-то опаздывал — «добрый день». Этого было достаточно, чтобы опоздание не повторилось».

В 1937 г. Бродский вернулся в Ленинград и поступил в докторантуру с темой о планктоне Японского моря, но так сложилось, что не закончил — был «выдвинут» на должность ученого секретаря ЗИНа и в этой должности работал до сентября 1941 г.

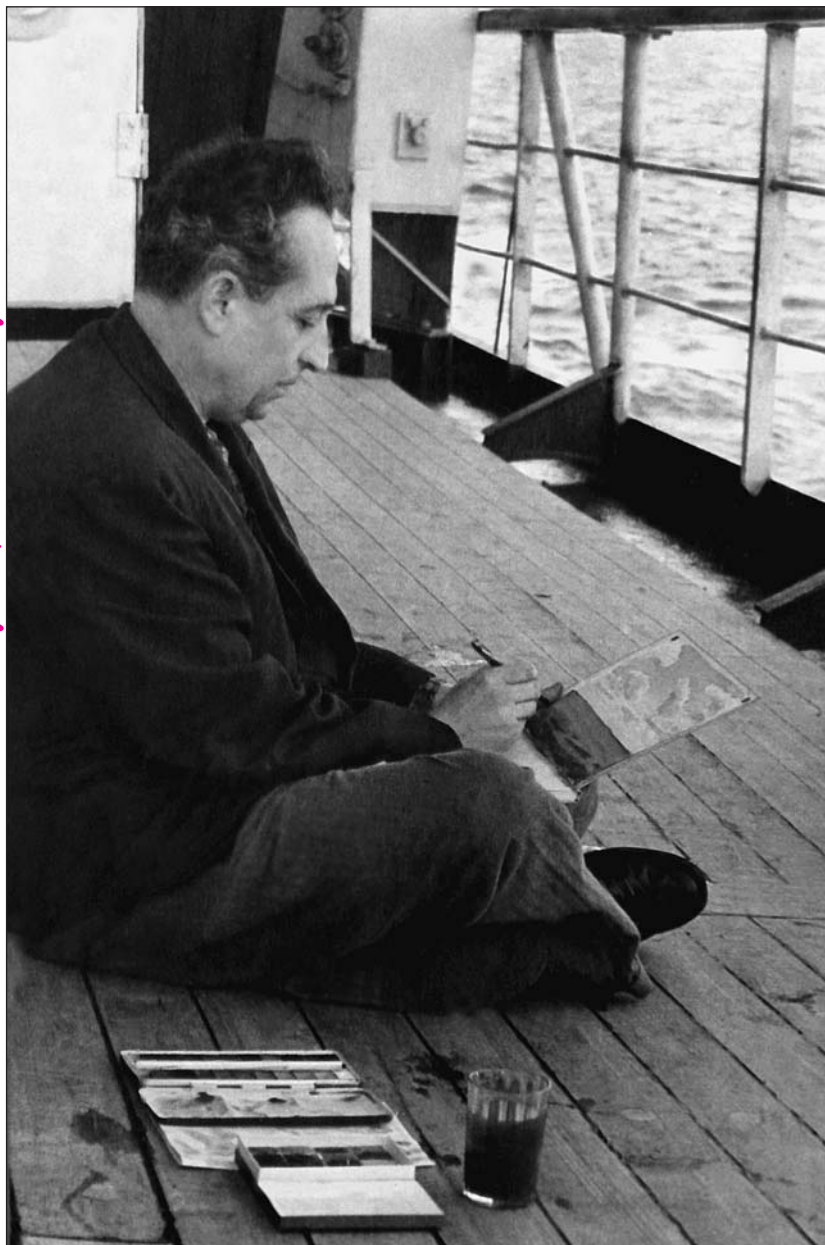
Началась Великая Отечественная война, и Константин Абрамович ушел добровольцем на фронт. Он служил при медсанчасти 11-й стрелковой дивизии 8-й армии на Ораниенбаумском пятачке, однако спустя четыре месяца его перевели в резерв как «не имеющего военной подготовки и кандидата биологических наук»... Сразу же был восстановлен в ЗИНе в должности старшего научного сотрудника. Вместе с основной частью коллектива института Бродский был эвакуирован в Среднюю Азию и направлен на оз. Иссык-Куль, где до 1943 г. преподавал в Сельскохозяйственном техникуме предмет «Защита сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней». После этого два года работал на Севастопольской биологической станции, а в 1945 г. вновь вернулся в Ленинград, но был принят в Арктический институт. В 1952 г., подав на конкурс и пройдя его, был зачислен



Во время учебной тревоги на палубе «Лены». На переднем плане П.В.Ушаков и К.А.Бродский. На пути в Антарктиду. 1956 г.



С птенцом императорского пингвина. Антарктида. 1956 г.



На палубе «Оби» за работой над морским пейзажем. Середина 1950-х годов.

в ЗИН на должность старшего научного сотрудника и спустя два года защитил докторскую диссертацию «Фауна веслоногих рачков и зоогеографическое районирование северной части Ледовитого океана».

Таким образом, можно сказать, что «морской период» в научной деятельности моего героя активно начался в 50-х годах прошлого века и поглотил Константина Абрамовича на всю ос-

тавшуюся жизнь.... В качестве заведующего отделением низших ракообразных и планктона он проработал в штате ЗИНа до марта 1981 г. и был высоким профессионалом — планктологом и зоологом, посвятившим научную деятельность морским планктонным ракообразным Calanoida, их морфологии, систематике, филогении, аутэкологии и зоогеографии. Глубокое понимание этой группы беспо-

звоночных животных позволило ему представлять особенности их горизонтального и вертикального распределения в океане и реконструировать картину зоогеографического районирования Северной и Южной Пацифики и Арктики. Результатом чего стало написание и выход из печати около 150 научных работ, включая две монографии.

Связав жизнь с морем и исследованиями его пелагических обитателей, Константин Абрамович не мог не участвовать в морских экспедициях — сначала на маленьком катере «Планктон» в Японском море, потом на ледоколе «Северный полюс» в Арктике, а затем на ледоколе «Микоян» из Арктики в северную Пацифику. Были в его жизни и короткие экспедиции на знаменитом «Витязе» и на маленьком рыболовном траулере в Тихом океане, в Беринговом и Охотском морях вдоль Курильской гряды, в водах влияния течений Куроисио и Оясио. Наконец, значительный период жизни Константину Абрамовичу довелось работать в Южном океане. К сожалению, его рукопись «Мои морские путешествия» так и не была издана... Сейчас я держу ее в руках и читаю запоем, потому что каждая страница пронизана духом морских ветров, прибоев и запахом береговых выбросов моря, которыми и я была заражена многие годы своей жизни... Хочется верить, что дочери Константина Абрамовича — Наташа и Маша — все же смогут издать эту книгу, как и первую, тоже неизданную его рукопись «В горах Киргизии, 60 лет тому назад».

Шестая глава «Морских путешествий» Бродского посвящена работе в Антарктике, в те времена самой неизведанной и экзотической части океана. «Русские люди, — пишет он, — были в антарктических водах только в 1819—1821 гг. во время плавания на шлюпах «Мирный» и «Восток»... когда и была открыта Антарктида». После этого



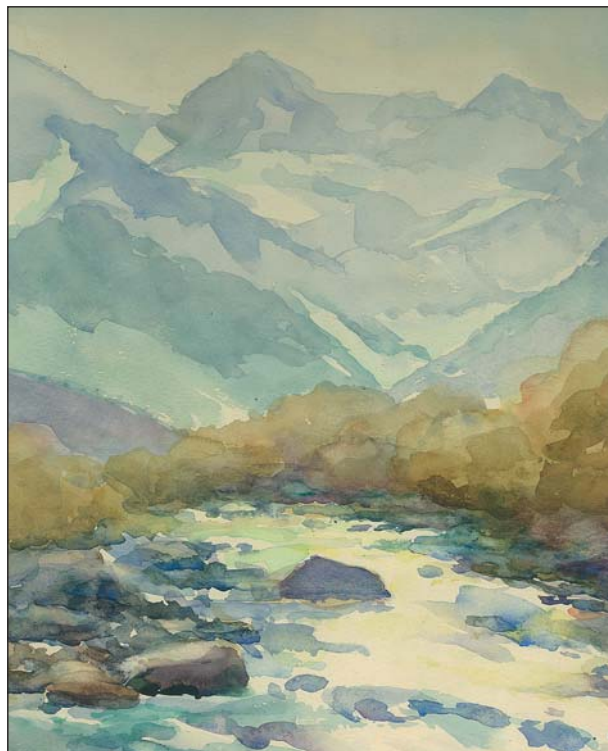
Берег Сабрина. Пионерские о-ва, Антарктида. 1955 г.



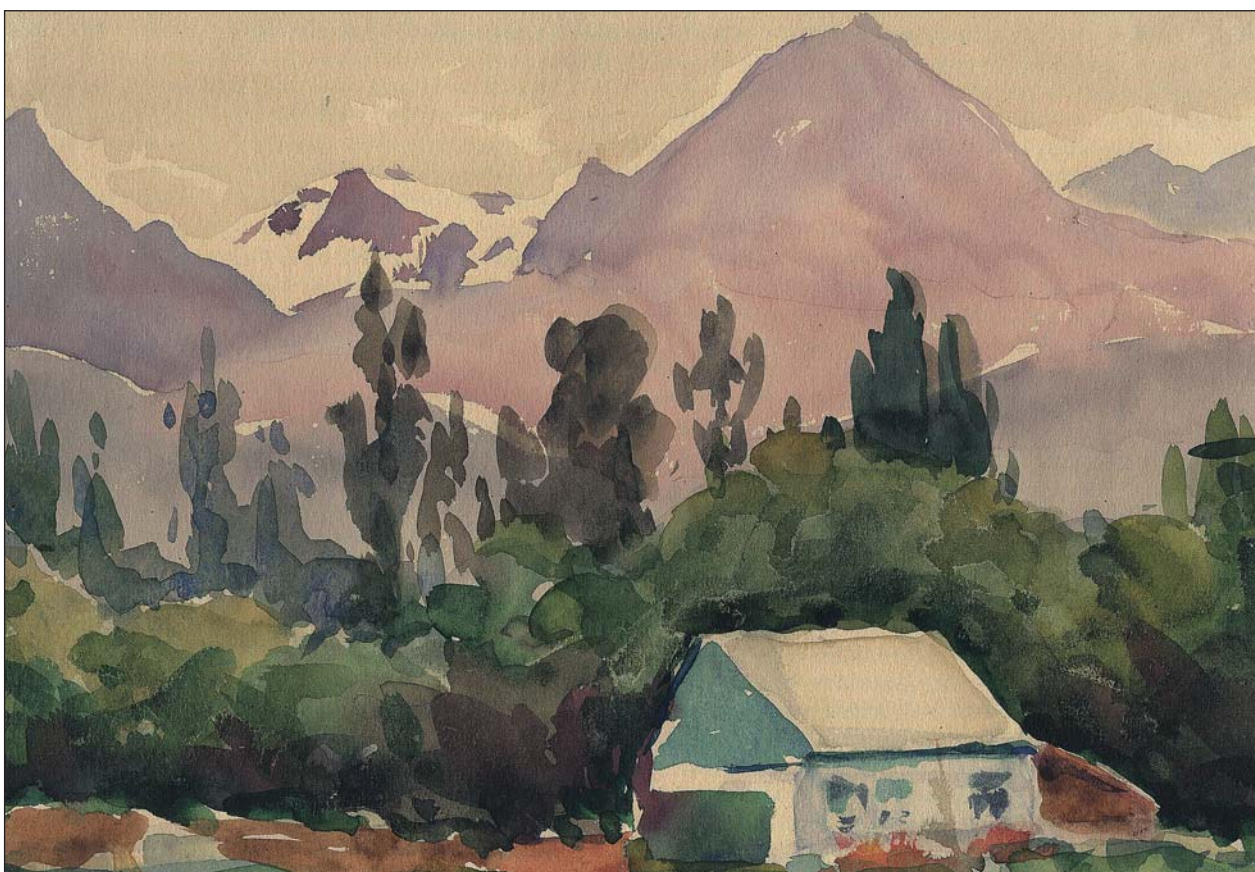
Иссык-Куль. 1979 г.



Ферганский хребет. Бобаш-Ата. 1977 г.



Горная река Каракол. Терсей-Алатау. 1976 г.



Чолпон-Ата. 1971 г.

экспедиция 1956—1957 гг. на судах «Лена» и «Обь» была первым российским (точнее, советским) плаванием в этих водах и вокруг материка Антарктиды, а Константин Абрамович и его спутники — русскими первопроходцами в Южное полушарие. Читая рукопись Бродского, погружаешься в рассказ об экспедиционном быте и работе на судне — оборудовании лаборатории, специфике подготовки и проведения биологических станций, а также последующей обработке собранного материала. Упоминает он о закладке первой русской обсерватории «Мирный» и участии в экспедиции в Атлантику на судне «Михаил Ломоносов». Кроме того, Константин Абрамович со свойственной ему поэтикой описывает антарктические пейзажи, картины встреч с пингвинами и трогательное общение с ними, внешне напоминающими двухлетних человеческих детишек.

Естественно, главные задачи морских экспедиций предполагали изучение фауны и особенностей ее распределения в соответствующих акваториях. Но неизбежно работы больших экспедиций включали заходы в морские порты для пополнения запасов топлива и пресной воды для судов, а также закупки продуктов для команды. Попутно общались с коллегами и обсуждали результаты исследований по совместным направлениям. В коллекции впечатлений Бродского — такие экзотические по тем временам места, как Австралия и Новая Зеландия, о.Пасхи, мыс Горн, Аргентина, Уругвай, Средиземное море и т.д.

С теплым чувством вспоминает Константин Абрамович своих друзей-коллег по экспедиции, биологов Владимира Андреевича Яшнова, Павла Владимировича Ушакова, Анатолия Петровича Андрияшева, Михаила Евгеньевича Виноградова, Георгия Михайловича Беяева —



Последние штрихи... 1980-е годы.

«всех, с кем работали и вместе делили все невзгоды нелегких морских путешествий».

Надо сказать, что Константин Абрамович обладал неординарным характером. Критически настроенный в отношении многих явлений и сторон жизни, ироничный, острый на язык, он невольно способствовал тому, что некоторые люди чувствовали дискомфорт при общении с ним... Однако в глазах тех, кто знал его лучше, он был чутким, справедливым, тонко чувствующим и понимающим окружающий мир человеком. Иначе и быть не могло! Ведь он был художником, и не только в душе. Все свободное время он писал акварелью и маслом, чаще всего пейзажи, иногда цветы. И то, и другое удавалось ему в равной мере. В ЗИНе сейчас дочери Константина Абрамовича организовали выставку его акварелей. При жизни Бродского выставки проходили в Доме ученых. В одной из коротких заметок о такой выставке было справедливо сказано: «человек с головой ученого и душой художника».

Константина Абрамовича всегда окружала молодежь,

и в первую очередь его официальные ученики — В.С.Шувалов, М.С.Кос, Н.В.Вышварцева. Много было начинающих исследователей, которые хотели у него учиться и которых он консультировал с удовольствием. В их числе была Е.Л.Мархасева и я. Думаю, что эти стороны характера Константина Абрамовича оказали влияние и на профессиональный выбор его сына — Андрея Константиновича Бродского, который стал биологом и сейчас работает в Санкт-Петербургском университете, и одной из его дочерей — Натальи Константиновны Бродской, которая, как уже говорилось, по сей день работает в ЗИНе.

Вне сомнения К.А.Бродский оставил после себя след на Земле. Ведь недаром до сих пор, спустя 100 лет после его рождения и 16 лет со дня смерти, в ЗИН на его имя приходят письма коллег... Его продолжают цитировать коллеги всего мира и его именем называют таксоны, последние из которых — род *Arctokonstantinus* Markhaseva et Kossobokova, 2001 и род *Brodskius* Markhaseva et Ferrari, 2005. ■

Заметки и наблюдения Страна водопадов

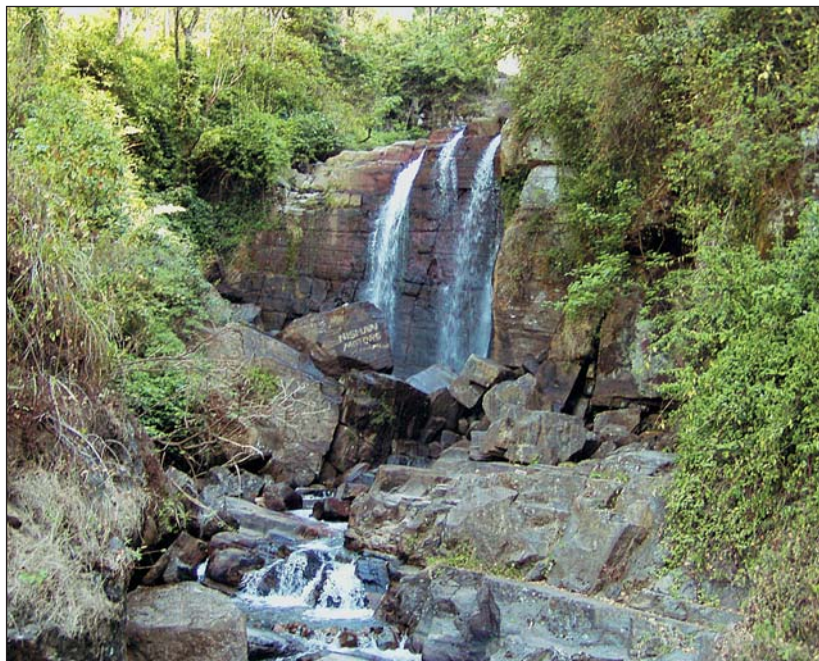
Г.Ф.Уфимцев,

доктор геолого-минералогических наук
Институт земной коры СО РАН
Иркутск

Самолет заходит на посадку в Коломбо дважды, и это позволяет с высоты птичьего полета рассмотреть небольшую часть острова. Внизу берег океана, низкая прибрежная равнина. Далее пологие холмы, чередующиеся с низинами, не очень-то похожими на привычные нам долины севера. На прибрежной низкой равнине реки текут по скальному ложу, и вдруг из-под крыла самолета открывается невысокий и изящный ступенчатый водопад. На низкой равнине и вблизи моря! Никогда такого не видел и даже не предполагал. Моя первая встреча со Шри Ланкой, как видите, весьма интригующая.

Шри Ланка – это не только вечный шум океанского прибоя, не только страна разнообразных гор и равнин. Это, наверное, в первую очередь, страна водопадов. Счастливейший остров! Водопады хороши сами по себе, а в тропиках еще дают человеку временный отдых от удушающей жары.

Уже первая поездка по острову, от западного берега к г.Канди, знакомит нас с самой многочисленной разновидностью шриланкийских водопадов – небольшими (в сухой сезон) струями на скальных выступах и глыбовых завалах в крутых ложбинах, прорезающих склоны. Близкое положение гор от общего базиса эрозии при абсолютных высотах до 2500 м определяет их значительную расчлененность. Сумма годовых осадков здесь превышает 4000 мм/год. Эту цифру жителю севера трудно освоить.



Водопад на правом борту долины р.Маскелии.

Тем более, на острове есть сухой сезон и, следовательно, интенсивность дождей и ливней в летнее время увеличивается. Сами склоновые ложбины стока всем своим видом говорят о периодическом буйстве стихии. Над малыми, казалось бы, ручейками дорожные мосты представляют собой серьезные инженерные сооружения, способные пропустить большие объемы водных масс. У нас же достаточно положить под полотно водосточную трубу.

К одному из замечательных творений природы Шри Ланки – коническому Адамову Пику – дорога украшена небольшими водопадами, каскадами и многочисленными серпантинами. Первые начисто уничтожают

дурное настроение от последних. И вот за поворотом в пролези гор открывается устремленный в небо шпиль, а справа крутая склоновая ложбина обрывается ровной десятиметровой высоты скальной поверхностью, по которой падают серебристые водные струи. На конечном пункте дороги – отсюда паломники преодолевают свой путь к горе пешком – река течет в скальном ложе. Здесь это обычное явление. Прямо под мостом водоток с одной скальной поверхности прыгивает на другую небольшим (не более двух метров) водопадом. В сезон дождей он будет представлять собой серьезное явление.

Но главные водопады – в центральной части острова,



Каскад в подошве ступени чайных холмов западной окраины Талавакел.

на среднегорном (максимальная высота 2524 м) хребте Пидуру и расположенном южнее плато Хортон. В юго-восточной подошве хребта Пидуру находится водопад Рамбода – две струи, падающие с уступа на уступ придолинной ступени «чайных холмов». Знаменитый цейлонский чай выращивается обычно на куполовидных холмах, составляющих эту ступень. Водопад Равана высотой 40 м также распадается на ряд струй, перепрыгивающих через ступени коренного ложа. Верхняя его часть крутая, а нижняя более пологая, переливается через низкие ступени, число которых, пожалуй, переваливает за десяток. Сложный каскад представляет собой и водопад Катабула.

По дороге из Нувара-Элии через Талавакеле в долину р.Ке-



Каскад в крутой промоине на борту долины р.Маскелии.



Серебряная струя на скальной поверхности на пути к Адамову Пикку.



Небольшой водопад на плато Хортон.



Русло реки в каменных завалах на пути к Адамову пикку.



Водопад Девон, падающий со ступени чайных холмов.

лани, ведущую в Коломбо, располагаются большие водопады. У западной окраины Талавакеле открывается очень живописный невысокий водопад. Следующий за ним на запад водопад Девон значительно выше. Он падает в основную долину единой струей. Водопад Сен-Клэр представляет собой уже типичный каскад и распадается на многочисленные белопенные струи.

На морфологию водопадов Шри Ланки, без сомнения, влияет ярусность рельефа. В структуре ландшафта острова наблюдается минимум три разновозрастных, как бы вложенных одна в другую генераций релье-

фа. Верхняя поверхность составлена уплощенными вершинами среднегорья, обрывающимися вниз крутыми и порой скальными уступами. На них располагаются небольшие каскады водопадов.

Ниже идет ступень чайных холмов, с которой срываются уже объединившиеся водотоки. Высота падения водных струй обычно составляет несколько десятков метров. Наконец, в подошве уступа ступени чайных холмов, в скальных ложах протяженных речных долин встречаются невысокие, но очень живописные белоструйчатые каскады.

Наблюдая рвущиеся в небо остроконечные пики и падающие вниз пенные водные струи, невольно приходишь к поиску аналогий. Где я такое видел? Ответ кажется неожиданным: горы Шри Ланки в отношении своих водопадов как характерного элемента ландшафта подобны (но не аналогичны!) Гвианскому нагорью. Масштаб явлений различен, но в обоих случаях мы имеем дело с платформенными средневисотными горами экваториальных (влажных) тропиков, горами с ясно выраженной ступенчатой ярусной структурой рельефа. ■

Новости науки

Зоология

Новый вид грызунов

В Перу, на восточном склоне Анд, ученые обнаружили удивительное млекопитающее — это крупный грызун, внешне представляющий собой нечто среднее между белкой и щетинистой крысой.

У него широкая голова и толстый пушистый хвост. От белки и крысы животное отличается более длинной и более темной шерстью, которая растет на макушке, на затылке и на плечах. Живет грызун на деревьях, ведет ночной образ жизни и питается орехами, ягодами и насекомыми.

Эта необычная находка принадлежит интернациональной команде исследователей, работавших в перуанском Национальном парке Ману. Новому виду млекопитающих присвоено название *Isothrix barbarabrownae*.

Предварительный анализ ДНК животного показал, что его предки, вероятнее всего, поднялись в горы с низин. Подробное изучение нового вида млекопитающих позволит, по словам ученых, пролить свет на то, как протекала эволюция древесных грызунов.

<http://www.newscientist.com/channel/life/dn11022>



Рисунок млекопитающего вида *I. barbarabrownae*.

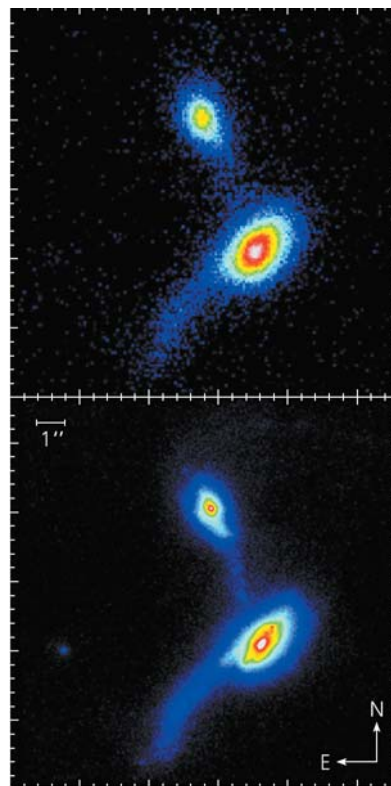
Астрономия

Искусственная звезда

Прав был В.В.Маяковский: «Если звезды зажигают, значит, это кому-нибудь нужно». Хотя на первый взгляд трудно понять, зачем астрономам нужна искусственная звезда, если на небе и без того остаются миллиарды еще не изученных звезд. Тем не менее астрономы Европейской южной обсерватории (ESO) зажгли на днях свою, искусственную, звезду¹ и очень этому рады. А нужна она им вот для чего...

Как бы велик и совершенен ни был наземный телескоп, он смотрит на Вселенную сквозь земную атмосферу. Представьте себе: если слой воздуха над нашей головой сжать до плотности воды, его толщина составила бы 10 м. Тот, кто любит подводное плавание, знает, как трудно рассмотреть предметы сквозь 10-метровую толщу даже самой чистой воды. Примерно столь же трудно астрономам различать мелкие детали космических объектов сквозь нашу беспокойную атмосферу. Частично эту проблему решает установка телескопов высоко в горах, в условиях разреженного и чистого воздуха. Еще лучше — поднять телескоп в стратосферу на борту самолета или аэростата. Совсем хорошо — запустить его в космос. Но и то, и другое обходится очень дорого и создает массу неудобств с обслуживанием и модернизацией аппаратуры. Вот если бы можно было обеспечить наземным телескопам космические условия наблюдений — нейтрализовать атмосферное дрожание

¹ Free from the Atmosphere: Laser Guide Star System on ESO's VLT Starts Regular Science Operations // ESO Press Release 27/07, 13 June 2007.



Одна и та же пара взаимодействующих галактик IRAS 09061-1248, но изображение внизу существенно более четкое благодаря использованию адаптивной оптики с искусственной звездой.

ESO Press Photo 27b/07, 13 June 2007

ние и размытие, увеличив тем самым четкость изображений!

Именно эту идею астрономы пытаются реализовать уже несколько десятилетий с помощью систем *адаптивной оптики*, и первые результаты обнадеживают². Уже на нескольких десятках телескопов по всему миру созданы или создаются эти оптико-меха-

² Наступает эра адаптивной оптики, или как астрономы побеждают атмосферу // Природа. 1996. №1. С.109—110.

нические системы, предназначенные для исправления в реальном времени атмосферных искажений в изображениях, даваемых телескопом. Как показывает опыт, системы адаптивной оптики увеличивают четкость изображений в несколько раз, позволяя различать детали размером в малые доли угловой секунды.

Суть метода проста: если мы точно знаем, что в поле зрения телескопа есть далекая звезда, которая должна выглядеть как яркая точка, а на самом деле выглядит как размытая клякса, то следует так преобразовать всю картинку, чтобы изображение звезды на ней стало точкой, тогда изображения и всех остальных объектов на картинке тоже примут свой исходный, «доатмосферный» вид. Суть то проста, но реализация весьма сложна. Операцию исправления картинки нужно делать сотни раз в секунду, чтобы не отстать от атмосферной турбулентности, искажающей изображение. Поэтому опорная звезда должна быть яркой, иначе ее света, собранного за тысячные доли секунды, не хватит для анализа формы изображения. Но ярких звезд на небе мало, а интересных объектов — много; в большинстве случаев рядом с интересным объектом (например, далекой галактикой) не оказывается яркой звезды. Вот поэтому астрономы и создали искусственную звезду.

По конструкции она напоминает лазерный прицел снайперской винтовки: куда нацелен телескоп, туда и лазер. Как правило, для этого используется лазер непрерывного действия с выходной мощностью в несколько ватт, настроенный на частоту резонансной линии натрия (например, на линию D_2Na). Его луч фокусируется в атмосфере на высоте около 90 км, там, где присутствует слой воздуха с относительно высоким содержанием натрия, свечение которого как раз и возбуждается лазерным лучом. Физический размер светящейся области составляет около 1 м, что с расстояния в 100 км воспринимается как объект с угловым диаметром около $1''$.

Поскольку луч мощного лазера способен ночью ослепить пилота самолета, астрономы предпринимают меры безопасности. Видеокамера следит через тот же телескоп за областью неба вокруг искусственной звезды и при появлении любого нового объекта выдает команду на заслонку, перекрывающую лазерный луч.

Теперь искусственная звезда есть и у астрономов ESO, изучающих небо с помощью системы из четырех 8-метровых телескопов VLT на горе Параналь в Чили. Сейчас это крупнейший в мире астрономический комплекс, и качество получаемых на нем изображений отныне будет на том же уровне, что и у космического телескопа «Hubble». Для примера можно посмотреть на полученное в ближком инфракрасном диапазоне фото пары взаимодействующих галактик IRAS 09061-1248: вверху — без всяких уловок, а внизу — при использовании адаптивной оптики с искусственной звездой. Существенное повышение четкости налицо. А ведь новая система делает первые шаги. Ее главные успехи — впереди.

© Сурдин В.Г.,
кандидат физико-
математических наук
Москва

Физика атмосферы и океана

Тонкие пленки на морской поверхности

Вопросы взаимодействия приводного слоя атмосферы и верхнего приповерхностного слоя моря, соотношения скоростей приводного ветра и приповерхностного течения по-прежнему актуальны. С целью получить новые данные по указанным проблемам, а также для развития гидродинамических моделей взаимодействия атмосферы и моря, разработаны практические рекомендации по контролю, прогнозу и предотвращению загрязнений сотрудниками Черноморского филиала Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова

В.В.Малиновский, В.А.Дулов и др. провели натурные исследования дрейфа искусственных тонких пленок на морской поверхности. Эксперименты осуществлялись на Южном берегу Крыма (Кацивели), в районе океанографической платформы.

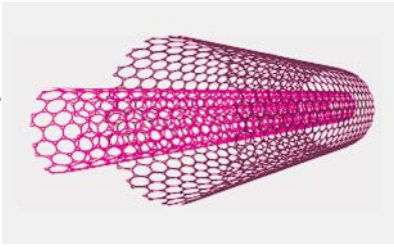
При скоростях ветра 5–12 м/с разливали растительное масло, фотографировали образовавшиеся поверхностные пленки и наблюдали за их изменчивостью. Было установлено, что скорость растекания пленки возрастает с увеличением скорости ветра. Получены количественные соотношения между этими величинами: суммарная скорость ветровольного дрейфа составляет 0.013 от модуля скорости ветра (обычно принимается величина 0.03). Дрейф хорошо описывается линейным взаимодействием векторов прибрежного течения и ветра. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т.43. №1. С.117–127 (Россия).

Организация науки. Химия

Перспективы углеродных наноструктур

Необычные свойства фуллеренов, нанотрубок и графеновых слоев (соответственно нульмерных, т.е. не имеющих макроскопических размеров ни по одному из трех пространственных направлений; одно- и двумерных наноструктур) и перспективы их практического использования стали главной темой Международной зимней школы IWEPNM (International Winterschools of Electronic Properties of New Materials, Австрия, 10–17 марта 2007 г.).

В центре внимания участников оказался графен — монослой атомов углерода, который лишь недавно научились отделять от графита или получать (на подложках или без них) другими способами. Электроны в графене ведут себя подобно безмассовым дираковским фермионам, а их подвижность на порядок больше, чем в кремнии. Квантовый эффект Холла в данной наноструктуре на-



Двустенная углеродная нанотрубка с внутренним слоем, обогащенным атомами ^{13}C .

блюдается уже при комнатной температуре. Из узких графеновых полосок изготавливают различные наноустройства, правда, пока в лабораторных масштабах. Во многих выступлениях отмечалась необходимость выйти за рамки одночастичной картины и учитывать для описания экспериментально наблюдаемой электронной структуры графена межэлектронное взаимодействие.

Кроме того, широко обсуждались перспективы использования нанотрубок (в том числе заполненных биомолекулами и водой) в различных наноустройствах, литиевых батареях, микрокатетах, датчиках, конденсаторах, жидкокристаллических дисплеях, искусственных мышцах и др. Например, двустенные нанотрубки, у которых внутренний слой обогащен изотопом ^{13}C , планируется использовать для ЯМР-исследований.

Отмечалось, что существенный прогресс достигнут в разработке методик изготовления нанотрубок с заданной хиральностью, созданы технологии сравнительно дешевого массового производства одностенных нанотрубок.

Может статься, уже в недалеком будущем углеродные наноструктуры если и не заменят полностью, то по крайней мере существенно потеснят кремний с занимаемых им лидирующих позиций в электронике.

Nature Materials. 2007. V.6. P.332–333 (Великобритания);
Nature Nanotechnology. 2007. V.2. P.191 (Великобритания);
http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/7_09/index.htm

Медицина

Ноопепт: защита липидов мозга от окисления

При таких заболеваниях головного мозга, как инсульт, травмы, дегенеративные заболевания, инфекции и др., активизируется перекисное окисление липидов. Предотвратить его могли бы препараты с антиоксидантными свойствами. Известно, что многие ноотропы (среди них пирацетам) способны восстанавливать познавательные (когнитивные) функции мозга, нарушенные повреждающими воздействиями, сочетая это с защитным эффектом. Определенная роль в этом может принадлежать нормализации взаимоотношений про- и антиоксидантных систем.

Поисками ноотропов с более высокой, чем у пирацетама, биологической активностью занимаются в НИИ фармакологии РАМН, и уже синтезирован дипептид ноопепт (этиловый эфир N-фенилацетил-L-пролилглицина). Среди его свойств — защита нейронов от избытка глутамата в межклеточном пространстве¹ и от перекисного окисления липидов.

Т.И.Федорова (НИИ неврологии), К.С.Ус и Р.У.Островская (оба из НИИ фармакологии) изучали *in vitro* антиоксидантное действие ноопепта в сравнении с влиянием других ноотропных препаратов: пирацетама, PBN (α -фенил-N-трет-бутилнитрона), который, как считается, служит ловушкой для свободных радикалов, и маннита, применяемого в клинике в качестве нейропротектора, в основном при отеке мозга.

Окисление липопротеинов крови здоровых доноров индуцировали ионами Fe^{2+} и количественно оценивали с помощью хемилюминесцентного анализа. Кроме маннита, другие испытанные соединения проявляли антиоксидантную активность, причем она зависела от дозы. В присутствии ноотропов липопротеины крови

¹ Подробнее об этом см.: Ноотропный дипептид против глутамата // Природа. 2007. №8. С.85.

становились более устойчивыми к окислению, т.е. сохраняли эндогенный антиоксидантный потенциал. В этом отношении ноопепт оказался эффективнее даже по сравнению с PBN, поскольку действовал при более низких концентрациях.

Полученные авторами результаты свидетельствуют, что ноопепт целесообразно использовать при тех поражениях мозга, которые сопровождаются недостатком антиоксидантной защиты. Возможны и другие области применения этого синтетического дипептида. Он может, например, ослаблять повреждающее действие окисленных липопротеинов крови на сосудистую стенку и тем самым снижать риск развития атеросклероза сосудов головного мозга и сердца.

Нейрохимия. 2007. №1. С.69–73 (Россия).

Зоология

Вспышки размножения непарного шелкопряда

Накоплено немало данных о периодичных и синхронных колебаниях численности в популяциях многих видов лесных насекомых, местообитания которых расположены на больших (до 1000 км) расстояниях. Группу исследователей, которую возглавлял американский энтомолог Д.М.Джонсон из Пеннского государственного университета, интересовал вопрос: происходят ли такие колебания в популяциях, разделенных сверхбольшими — свыше 1000 км — расстояниями².

В качестве изучаемого объекта был выбран непарный шелкопряд (*Lymantria dispar*); в годы массового размножения от гусениц этого вида сильно страдают дуб, береза, липа, а в садах — фруктовые деревья. О численности насекомых исследователи судили на основании площади поврежденных (лишенных листьев) насаждений, при этом использовались данные за 1924–2004 гг. по семи странам — США, куда

² Johnson D.M. // Journal of Animal Ecology. 2005. V.74. P.882–892.

этот вид завезен, Хорватии, Венгрии, Румынии, Словакии, Японии и Украине. Периоды циклических колебаний численности этих насекомых варьировали от 5.84 года в Японии до 16.53 года на Украине; в других странах они составляли 8—12 лет.

Синхронные вспышки массового размножения непарного шелкопряда прослеживались только внутри континента (Евразии или Америки), на расстоянии до 1200 км; на разных континентах они были асинхронными.

Факторы, определяющие динамику численности популяций непарного шелкопряда, пока еще точно не выяснены. Однако наиболее вероятно, что периодичность вспышек его массового размножения — результат одного или нескольких трофических взаимодействий. Так, например, есть данные о том, что хищная деятельность мелких млекопитающих в лесах США — основной фактор, регулирующий численность популяций непарного шелкопряда при низкой плотности гусениц¹. Популяции мелких млекопитающих сильно зависят, как известно, от количества корма (особенно желудей) в зимний период. Поскольку урожай желудей в дубовых лесах — явление периодическое, то их неурожай может способствовать вспышкам массового размножения непарного шелкопряда.

© Емец В.М.,

доктор биологических наук
Воронежский заповедник

Морская биология

Распределение кальмаров в Южно-Курильском районе

Южно-Курильский район в августе—ноябре — место нагула трех массовых промысловых видов кальмаров: тихоокеанского (*Todarodes pacificus*), Бартрама (*Onmastrephes bartramii*) и курильского

¹ Environmental Entomology. 1977. V.6. P.315—322; Ecology. 1996. V.77. P.2332—2342; Population Ecology. 2000. V.42. P.257—266.

(*Onychoteutbis borealijaponica*). Эти виды были и остаются одними из важнейших объектов промысла для таких стран, как Япония, Корея, Тайвань и Китай.

Общий вылов кальмара Бартрама за пределами экономической зоны России достигал 360 тыс. т, но затем в связи с прекращением дрейферного промысла резко снизился и сейчас колеблется в пределах 30—90 тыс. т. Общий вылов тихоокеанского кальмара достигал 480 тыс. т, в настоящее время составляет 100—170 тыс. т. Курильский кальмар, специализированный лов которого не ведется, добывается как прилов в ходе промысла тихоокеанского кальмара и кальмара Бартрама; в отдельные годы его вылов достигал 2—5 тыс. т.

В пределах российской экономической зоны в Южно-Курильском районе постоянного промысла этих видов кальмаров нет, добыча их в основном происходит в рамках контрольного лова и научно-исследовательских работ, а также в качестве прилова в ходе промысла сайры. По оценкам сотрудников Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра (Владивосток) Ю.В.Новикова, Е.В.Слободского и Г.А.Шевцова, запасы кальмаров в этом районе достаточно велики и ежегодно рекомендуется вылавливать 50—70 тыс. т кальмара Бартрама, до 35 тыс. т тихоокеанского и до 20 тыс. т курильского. Ясно, что ввиду промысловой значимости кальмаров изучение закономерностей их распределения в районе Южных Курильских о-вов представляет несомненный интерес.

В своей работе авторы использовали океанологические данные японских и российских научно-исследовательских и научно-поисковых судов. Параллельный анализ межгодовой изменчивости промысловых и гидрологических ситуаций за один и тот же период позволил выявить основную закономерность, определяющую численность массовых видов кальмаров. По площади распространения вод субтропического проис-

хождения выделены три типа океанологических условий: «условно холодный», «условно теплый» и «условно нормальный».

В «условно холодные» годы — с преобладанием вод субарктического типа (прикурильских, Ойясио и субарктических) — значительно возрастает частота встречаемости, биомасса и уловы тихоокеанского и курильского кальмаров, а для кальмара Бартрама эти показатели несколько снижаются. И наоборот, с преобладанием вод субтропического происхождения возрастает частота встречаемости кальмара Бартрама, а у тихоокеанского и курильского эти показатели снижаются вплоть до единичных уловов.

Океанология. 2007. Т.47. №2. С.259—265 (Россия).

Геология

Нефтегазоносность шельфа Восточной Арктики

На широком шельфе Восточной Арктики распространены многочисленные рифтогенные структуры разного возраста и ориентировки. В.Е.Хаин и И.Д.Полякова (Геологический институт РАН), используя имеющуюся геолого-геофизическую информацию, данные магнито- и гравиметрических исследований, а также результаты бурения на американском шельфе Чукотского моря, уточнили тектоническую схему региона и выделили — по аналогии с хорошо изученными прибрежными площадями Мирового океана и палеошельфов современной суши — предполагаемые зоны газо- и нефтенакпления в конкретных седиментационных бассейнах Чукотского и Восточно-Сибирского морей.

Важную роль в образовании этих бассейнов, как считают авторы, играл трансформный разлом с правосторонней сдвиговой компонентой. Он простирался во внешней части шельфа, где сформировался субширотный с ответвлениями полирифтовый мегабассейн Вилькицкого — Северо-Чукотский, с которым связываются

самые значительные перспективы нефтегазоносности.

В эпоху мела на территорию Северо-Чукотского прогиба с юга распространялись конусы выноса субмеридионального вытянутого трога Куваева (желобообразной впадины). Видимо, по этой причине общая мощность осадочной толщи достигла особенно больших значений (до 18–20 км), что должно было активизировать образование нефти и газа. Наиболее перспективными в этом отношении представляются северный склон Северо-Чукотского прогиба и сочленяющаяся с ним впадина Макарова. Благоприятные условия для нефтегазоаккумуляции возникали также на южных и западных склонах Вилькицкого—Северо-Чукотского мегабассейна. Над широким его основанием на средних и малых глубинах прогнозируются преимущественно газоносные зоны. Залежи наиболее вероятны в ловушках небольших бассейнов и поперечных поднятиях. В троге Куваева разветвленная седиментационная система тоже может содержать углеводородные скопления в разнообразных ловушках.

Несмотря на труднодоступность этого региона и на ледовую обстановку, сохраняющуюся на значительной площади этих морей большую часть года, все более целесообразной представляется активизация геолого-геофизических работ на их шельфе, поскольку в ближайшем будущем затраты на поиски и разработку месторождений нефти и газа, возможно, будут компенсироваться все возрастающими мировыми ценами на углеводородное сырье.

Открытие нефтегазовых месторождений не только создаст предпосылки к развитию отдаленного от центра северо-восточного угла России, но также обеспечит топливом корабли Североморского пути и предоставит возможность дополнительного экспорта углеводородного сырья. Оптимис-

тическому развитию геолого-экономического сценария региона будет способствовать также наступившее потепление климата (с каждым летом полярные льды стали таять все интенсивнее).

Океанология. 2007. Т.47. №1. С.116–128 (Россия).

Океанология

Характеристика водных масс Северной Атлантики

Климат Европы во многом определяет Северная Атлантика. Для анализа динамики вод этой области Мирового океана сотрудники Государственного океанографического института Росгидромета А.А.Постнов, Н.В.Жохова и Е.В.Борисов исследовали температуру и соленость в качестве основных характеристик водных масс в районе от экватора до 80 с.ш. по судовым наблюдениям за последние 30 лет. Были рассчитаны также поля парных коэффициентов корреляции температуры и солености как дополнительной характеристики водных масс в слое от поверхности до глубины 1000 м.

Исследования показали, что процессы взаимодействия водных масс при значительных различиях характеристик отличаются от классического перемешивания. В результате районирования поверхностных, подповерхностных и верхнего слоя промежуточных вод по степени коррелированности температуры и солености было обнаружено, что существует переменяемость водных масс без их смешения; иногда фиксируется появление вод со значительным отличием от типичных свойств вод данного квадрата; происходит перемешивание трех и более водных масс; часто встречается хаотическое смещение разномасштабных объектов, а не перемешивание крупных водных масс. При этом наблюдается отрицательная корреляция температуры и солености, что означает перемешива-

ние теплой распресненной водной массы с холодной и соленой; это вполне объяснимо для тропических широт.

Метеорология и гидрология. 2007. №2. С.67–75 (Россия).

Палеонтология

Древние австралийские животные вымерли по вине человека?

Австралийские палеонтологи пришли к выводу, что в массовом вымирании животных на этом континенте около 40 тыс. лет назад был повинен не сухой и жаркий климат, как считалось ранее. Результаты исследования фаунистических остатков, найденных в 2002 г. на юге страны, в пещерах равнины Нулларбор, показали, что животные того времени были вполне адаптированы к природным условиям. Так, обнаружены остатки брюхоногого моллюска (Gastropode), современные родичи которого благополучно обитают в аридных зонах, а также виды ящериц, очень хорошо приспособленных к засухам. Да и тогдашний климат, как выяснилось, нельзя назвать чрезмерно жарким: специалисты измерили содержание в зубной эмали разных видов древних кенгуру изотопа ^{18}O — маркера температуры воздуха далеких эпох, — и его концентрации оказались равными сегодняшним. Количество и разнообразие травоядных среди найденных животных свидетельствует о более богатом по сравнению с теперешним растительном покрове.

Таким образом, для объяснения резких изменений, произошедших в указанную эпоху, нужно искать иные причины. По мнению исследователей, к сокращению биоразнообразия Австралии привело появление на этом континенте человека.

Sciences et Avenir. 2007. №721. P.24 (Франция).

Маленькие книжки о большой Вселенной

А.Г.Тоточава,
кандидат физико-математических наук
Москва

К маленьким книжкам можно относиться по-разному. С одной стороны, брошюрка размером с ладонь выглядит легкомысленно и не обещает глубокого проникновения в предмет. С другой стороны, зажатый малым объемом, автор вынужден говорить кратко и рассказывать самое интересное и важное. К тому же, не говоря уже о цене, удобство пользования маленькой книгой очевидно. При первом же взгляде на нее подкупает формат и объем: выходя из дома в предвкушении долгой поездки, мы непроизвольно ищем глазами непрочитанную **маленькую** книгу, которая — в идеале — уместилась бы в кармане куртки или пальто. А прочитать такую книжку объемом в 64 страницы можно за два часа, проведенные в транспорте: в смысле удобства чтения она ничем не хуже компьютера-наладонника, разве что легче.

Открытием этого мини-формата научно-популярных книг на русском языке мы обязаны В.М.Ваксману — владельцу фрязинского издательства «Век-2», основавшему в 2005 г. серию «Наука сегодня» [1]. Рождение нового непривычного формата — это всегда риск для издателя, но, кажется, в данном случае он оправдался: уже издана первая дюжина книг, хорошо оформленных и недорогих, которые охотно раскупаются любознательными москвичами. Тематика пока не очень разнообразна: генетика, эволюция чело-

века и астрономия. При этом книжки астрономического содержания составляют 2/3 маленькой библиотечки. Не думаю, что это случайность или отражение личных пристрастий издателя. Коммерция беспристрастна: производится то, что покупается. Статистика входов в сетевые энциклопедии показывает, что большинство пользователей обращается за астрономическими статьями. О том же говорит и статистика научно-популярных сайтов: среди специализированных в абсолютном большинстве — астрономические. Не ясно, то ли астрономы умеют лучше рассказывать о своей науке, то ли сама астрономия столь проста и привлекательна...

Очередные четыре книжки в этой серии, опубликованные в апреле 2007 г., посвящены исключительно астрономии, хотя и в несколько неожиданных ракурсах. Только одна из них рассказывает о реальных, уже доступных исследованию небесных объектах (сверхплотных остатках эволюции звезд), а темы трех других книг можно условно назвать мнимыми — это гравитационные волны, неопознанные летающие объекты (НЛО) и астрология. Разумеется, «мнимость» этих трех тем разная. Гравитационные волны пока еще надежно не зарегистрированы приборами, но нет сомнения, что это произойдет в ближайшее время. НЛО зарегистрированы, но абсолютное большинство из них опознано специалистами как известные объекты и явления. Наконец, астрология — в самом прямом

смысле мнимая наука, расцветающая как сорняк на почве научной безграмотности граждан. Однако и при обсуждении этого, по сути — социального явления, астрономы смогли рассказать немало интересного.

Если подойти с точки зрения формального определения, то белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры — вовсе не звезды, а «звездные трупы», в недрах которых уже не протекают термоядерные реакции, делающие звезды уникальными созданиями природы. Однако стоит этим «трупам» оказаться вблизи нормальной звезды, как они начинают вторую и очень бурную жизнь. Из тихо остывающих тел они превращаются в активнейших монстров, поражающих разнообразием своих внешних проявлений. Большинство объектов молодой рентгеновской астрономии — именно эти якобы умершие светила. «Звезды: жизнь после смерти» — так назвали свою книгу С.Попов и М.Прохоров, астрофизики из МГУ, хорошо известные не только в среде коллег, но и широкому кругу любителей астрономии. Правда, эти авторы гораздо чаще пишут в сетевых изданиях, объясняя свое пристрастие к быстрым публикациям исключительно высокой динамикой области своих исследований — релятивистской астрофизики. Но в данном случае книга не намного отстала от Интернета: от идеи до прилавка прошло всего несколько месяцев. В этом еще одно преимущество мини-книг.

Краткий рассказ о релятивистских объектах вместил в се-

бя историю их открытия, современную классификацию и описание основных физических процессов, происходящих при захвате вещества и его трансформациях в процессе падения на поверхность белых карликов и нейтронных звезд, а также в бездонную глотку черных дыр. Особенно подробно описан «зоопарк нейтронных звезд», разнообразие внешних проявлений которых не перестает удивлять исследователей. Здесь можно напомнить, что обычные звезды отличаются друг от друга по массе порою в тысячи раз. В основном с этим-то и связаны их наблюдаемые различия. В отличие от нормальных звезд, их нейтронные «огарки» — просто калиброванные изделия: все они имеют практически одинаковую массу, около $1.5 M_{\odot}$, но при этом поразительно различаются «внешностью». Причина в том, что источником энергии нейтронных звезд часто служит их вращение и магнитное поле. А по этим параметрам они-то как раз и отличаются друг от друга во многие тысячи раз. Особый интерес в последние годы к магнитарам — нейтронным звездам, обладающим чрезвычайно сильным магнитным полем у поверхности, около 10^{14} – 10^{15} Гс. Плотность энергии такого поля не поддается воображению: в пересчете на полную энергию покоя вещества ($E = mc^2$) она соответствует 1 т/см³! Такое поле с места не сдвинешь, ведь им заполнены тысячи кубических километров вокруг нейтронной звезды. Магнитары проявляют себя как источники ярких вспышек рентгеновского и гамма-излучения, энергия которых черпается именно из магнитного поля. В принципе, это похоже на солнечные вспышки, только очень сильно превосходит их по масштабу. От этих вспышек зашкаливают приборы космических обсерваторий.

Совсем иное дело — гравитационные волны. Хотя их источники видятся астрофизикам также среди нейтронных звезд

и черных дыр, создаваемое ими гравитационное излучение — настоящий космический шепот. Чтобы его услышать, нужны огромные сверхчувствительные «уши». Попыткам создать гравитационно-волновые детекторы посвящена книга В.Руденко «Поиск гравитационных волн». В истории физики это беспрецедентный случай: почти столетия и огромные средства потрачены на то, чтобы подтвердить прогноз теории А.Эйнштейна о существовании гравитационного излучения. Для этого созданы приборы размером в километры и при этом настолько чувствительные, что в Австралии слышат топот африканских слонов. Но в этой же сверхчувствительности кроется недостаток гравитационных антенн: они слышат буквально всё — скрип земной коры, взрывы на шахтах, удар по мячу на соседней площадке для гольфа, тепловое движение атомов в самом приборе. Как же на этом фоне заметить тихий «шепот» гравитационных волн? Физики пытаются решить эту проблему с разных сторон.

В некоторых лабораториях создаются твердотельные антенны-болванки, обладающие высокой добротностью и поэтому способные испытывать резонансные колебания под действием гравитационной волны подходящей частоты. Чтобы тепловые колебания атомов самой антенны не создавали лишнего шума, алюминевую болванку массой несколько тонн охлаждают до температуры 0.01 К. Уже несколько таких суперкриогенных детекторов ждут прихода гравитационных импульсов, но пока, увы, безрезультатно. Пытаясь поймать гравитационные волны, физики-экспериментаторы попали в непривычную для них зависимость от естественных генераторов этих волн. К сожалению, создать гравитационные волны в лаборатории абсолютно невозможно. Единственная надежда экспериментаторов — то, что



С.Попов, М.Прохоров.
ЗВЕЗДЫ: ЖИЗНЬ ПОСЛЕ СМЕРТИ



В.Руденко. ПОИСК ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Из серии «Наука сегодня»

Фрязино: Век-2, 2007



В.Сурдин. НЛО: ЗАПИСКИ АСТРОНОМА



В.Сурдин. АСТРОЛОГИЯ И НАУКА

Из серии «Наука сегодня»

Фрязино: Век-2, 2007

волны пространства-времени придут из космоса, от гигантских естественных генераторов: двойных нейтронных звезд, взрывов сверхновых и тому подобных космических катастроф. Так что гравитационно-волновая физика вынуждена быть астрофизикой, ориентированной на изучение только космических источников излучения.

Не имея возможности генерировать волну с определенными свойствами, экспериментатору трудно доказать факт регистрации неизвестной волны на уровне (или даже под уровнем) шумов детектора. Поэтому в области гравитационно-волновой астрономии жизненно важна международная кооперация. Синхронная регистрация сигнала несколькими детекторами на разных континентах надежно подтвердит факт приема волны. Автор пишет: «Особенность нынешнего момента в проблеме экспериментального обнаружения гравитационных волн можно условно определить как «напряженное ожидание первого сигнала»... хотя бы одного... для начала. Если теория верна, их должно наблюдаться... аж несколько штук в год! Таков уровень чувствительности современных гравитационных антенн, достигнутый ценой огромных интеллектуальных и технических усилий, материальных и временных затрат».

К сожалению, гравитационные телескопы еще не скоро «увидят» всё многообразие гравитационно-волнового неба. Вряд ли эволюция этой области астрофизики будет столь же стремительной, как взлет радиоастрономии, период роста которой занял всего несколько десятилетий. Причин для этого несколько, в том числе и отсутствие интереса у военных к волнам гравитационного поля. Поэтому нам остается ждать редких гравитационных «фриков» [2], которые смогут возбудить наземные и космические антенны. Судя по расчетам, первые та-

кие события произойдут в самое ближайшее время. Этого ждут тысячи специалистов, связавшие свою жизнь с надеждой открыть новое «окно» во Вселенную. А после выхода этой книжки к напряженно ожидающим гравитационного «девятого вала» астрофизикам присоединятся и тысячи любознательных читателей.

Теперь от чистой науки мы обратимся к теме «наука и общество». Две маленьких книжки В.Сурдина вторгаются в ту пограничную область между наукой и ненаукой, куда редко заглядывает научно-популярная литература. Буквально по пальцам можно пересчитать изданные у нас за последние полвека книги, посвященные астрологии и НЛО. Разумеется, речь идет не об астрологических описаниях и уфологических сочинениях, а о взвешенном, критическом анализе этих популярных увлечений, основанных, с одной стороны, на искренней любознательности граждан, а с другой — на низком уровне их образования.

Книга «НЛО: записки астронома» точно отвечает своему названию. Это отдельные очерки, раскрывающие суть редких оптических явлений, с которыми каждый из нас может столкнуться, если почаще будет поднимать глаза к небу. Астрономы чаще других смотрят на небо, поэтому многие явления для них не настолько таинственны, как для обывателя. Автор демонстрирует нам интересную коллекцию фактов, доказывающих, что феномен НЛО — явление многогранное. В книжке рассказано о том, как журналисты в поиске сенсаций «создают НЛО» вместо того, чтобы расследовать достоверность сообщений. Рассказано и о том, как ученые в поиске новых природных явлений изучают сообщения очевидцев необъяснимого. Многие эпизоды рассказаны «из первых рук», поскольку автор сам был очевидцем и расследовал их.

Выясняется, что если человек достаточно искушен в визуальных наблюдениях, то многие «суперзагадочные НЛО» превращаются во вполне обычные объекты: самолеты и аэростаты, небесные светила (Венеру, Луну и даже Солнце), космические аппараты (взлетающие ракеты или входящие в атмосферу спутники). Порою «летающая тарелка» оказывается просто мыльным пузырем (в прямом смысле слова!), появившимся в необычном месте в неожиданный момент. Автор рассказывает как об известных НЛО (памятное многим Петрозаводское явление 1977 г.), так и о малоизвестных феноменах, часто связанных с особенностями нашего зрения (например, так называемое «бокковое зрение»).

Статистика сообщений об НЛО свидетельствует, что причиной сенсаций чаще всего становятся, казалось бы, хорошо знакомые нам объекты — Луна и Венера. Но выясняется, что нередко они оказываются «неопознанными» и демонстрируют нам не до конца понятные эффекты. Кто может объяснить, почему лунный диск у горизонта кажется огромным? Или в чем причина эффекта «полет Луны», наблюдаемого в облачную погоду? Оказывается, даже опытные наблюдатели неба не всегда могут разобраться в своих впечатлениях; а новичок, наблюдающий Луну в телескоп, как правило, принимает пушинку перед объективом за космическое НЛО.

Разъясняя оптические феномены и рассказывая об истории уфологии, автор не стремится закрыть тему НЛО. Его задача в том, чтобы помочь читателю в стоге сена найти иголку — помочь отделить истинные неизученные и непонятные явления от тривиальных и выдуманных. Учитывая скромный объем книги, вряд ли можно было сделать это лучше.

Книга «Астрология и наука» также принадлежит перу В.Сурдина. Ее объем в 1.5 раза больше

стандартного, вероятно, потому, что она содержит обширное послесловие, написанное академиком В.Л.Гинзбургом. Учитывая размер послесловия, вполне можно считать нобелевского лауреата соавтором этой книги. Понятно, что астроном и физик не могут объять все аспекты такого сложного и древнего культурного феномена, как астрология. Да они и не пытаются. Тема книжки вполне точно отражена в ее аннотации: «Существует ли связь между астрологией и наукой? Некоторые утверждают, что астрология сама является наукой, другие же уверены, что астрология — это не более чем гадание по звездам. В книге рассказано, как ученые относятся к астрологии, как они проверяют астрологические прогнозы и кто из великих астрономов и в какой степени был астрологом».

Книга начинается разъяснением того, почему естествоиспытатели вынуждены в очередной раз обращаться к этой далекой от науки теме. Причина, в общем, проста: астрология уже допекла всех рационально мыслящих людей, но особенно — астрономов. Виною тому сходство названий. Астроном не может понять, почему картографа никогда не называют картежником, а астронома сплошь да рядом именуют астрологом. Нужно сказать, обиды астрономов вполне обоснованы. Буквально в день появления на прилавках магазинов книги «Астрология и наука» программа новостей НТВ «Сегодня» представила институт автора этой книги (ГАИШ МГУ) как «Астрологический»!

Конечно, обида на невнимательных журналистов — это лишь зачин книги. Далее кратко рассказана история астрологии и эволюция ее взаимоотношений с наукой. Отдельные главы посвящены знаковым фигурам из мира ученых, на которых любят ссылаться астрологи, — К.Птолемию, Т.Браге, И.Кеплеру, Г.Галилею и И.Ньютону. Особый интерес представляет фигура Ньютона, сложная личность ко-

торого дает повод для многочисленных спекуляций. Например, астрологи часто называют Ньютона тайным астрологом и цитируют его слова, обращенные к Э.Галлею, когда тот якобы непочтительно отозвался об астрологии: «Сэр Галлей! Я изучал этот предмет, а Вы — нет!». Оказалось, что этот исторический анекдот — чистойшей воды выдумка. Как известно, Ньютон был религиозный человек. Каждый раз, когда его младший коллега Галлей отваживался сказать что-либо неуважительное о религии, Ньютон прерывал его фразой «I have studied these things — you have not!».

В личной библиотеке Ньютона, насчитывавшей к моменту его смерти 1752 тома, было 477 книг по теологии, 169 по алхимии, 126 по математике, 52 по физике и 33 по астрономии; и лишь четыре книги так или иначе имели отношение к астрологии. Их он приобрел в молодости и, не дочитав, бросил. Так что Ньютон никогда не занимался астрологией и даже не изучал ее сколько-нибудь серьезно. Его интерес к звездам ограничивался попытками сопоставить светскую и ветхозаветную хронологию, используя записи о движении небесных светил. Ньютон безжалостно урезал историю Древнего Египта, желая втиснуть ее в рамки библейского времени. В этом деле он не преуспел, но создал прецедент.

Биографам известно лишь два замечания Ньютона на тему астрологии. Своему племяннику он рассказывал, что его увлечение точными науками значительно усилилось летом 1663 г., когда, будучи студентом Кембриджского университета, он купил на ярмарке книгу по астрологии и хиромантии; как раз одну из тех четырех, что сохранились в его библиотеке. Озадаченный невразумительными диаграммами и вычислениями, попавшимися ему в этой книге, Ньютон купил несколько серьезных руководств по геометрии и математике (Евклида, Декарта

и др.) и вскоре «убедился в тщетности и пустоте научных претензий юдициарной астрологии».

Второй случай произошел уже в годы глубокой старости великого физика: одному из своих собеседников Ньютон рассказывал как-то, что родился он на Рождество 1642 г., и что, как он полагает, «Рождество — вообще очень благоприятный момент для рождения гениев». Похоже, под мрачноватой наружностью Ньютона скрывался человек с юмором.

Кроме малоизвестных эпизодов из жизни великих, в книге «Астрология и наука» описаны результаты статистических исследований сбываемости астроло-

логических прогнозов, а также способность известных физических взаимодействий переносить влияние космических тел на земные объекты. В большинстве случаев проверка астрологических прогнозов показывает, что частота их сбываемости не выше частоты случайных попаданий. А в тех случаях, когда она оказывалась выше (известные работы Мишеля Гоклена), открылись новые любопытные факты, которые я для сохранения интриги не стану пересказывать в рецензии.

Послесловие к книге, написанное Гинзбургом, содержит рассуждения о природе лженауки и рассказ о безуспешных попытках борьбы нобелевского

лауреата с публикацией астрологических прогнозов во вполне уважаемых, на первый взгляд, изданиях. Однако коммерческие интересы всегда оказываются важнее интересов истины: против мнения нобелевского лауреата толпа голосует рублем. В стране, теряющей свою науку, поднять тиражи изданий можно только за счет непритязательной публики. Собоответственно, об этом говорят и тиражи книжек, о которых здесь рассказано: каждая из них отпечатана в количестве 2500 экз. Хочется надеяться, что этим числом еще не ограничивается количество критически мыслящих и любознательных людей в нашей стране. ■

Литература

1. Сурдин В.Г. О науке — доступно и кратко // Природа. 2005. №9. С.86—90.
2. Пелиновский Е.Н., Слюняев А.В. «Фрики» — морские волны-убийцы // Природа. 2007. №3. С.14—24.

Орнитология

Е.А.Коблик, Я.А.Редькин, В.Ю.Архипов. СПИСОК ПТИЦ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 256 с.

Список птиц Российской Федерации, подготовленный инициативной группой при Мензбиревском орнитологическом обществе, включает все виды и подвиды птиц, достоверно зарегистрированные на ныне входящей в РФ территории за весь период орнитологических наблюдений. Результаты анализа многочисленных литературных источников и коллекционных материалов позволили подтвердить или уточнить статус большинства отмеченных в России форм. Для видов и подвидов, относящихся к обычной гнездовой авифауне, приводятся ссылки на источники информации. В списке фигурируют 1330 птиц, относящихся к

789 видам. Из них современную гнездовую фауну составляют 657 видов. Залетными, встречающимися на сезонных миграциях или зимовках, признано 111 видов, вымершими или исчезнувшими с территории России — семь видов. Не менее 14 видов сохраняют неопределенный статус. В авифауну России включено 20 видов, новых для территории бывшего СССР. Птицы, регистрации которых в пределах России признаны недостаточно достоверными или ошибочными, вынесены в дополнительный список, насчитывающий 49 видов. Согласно результатам таксономических ревизий форм видового и родового ранга, фауна России пополнилась 27 видами и обеднела на два. Для 36 представителей отечественной фауны изменена научная видовая номенклатура. Заменено 26 названий родового ранга, относящихся к 44 видам. Значительные кор-

рективы претерпела классификация таксонов подвидового ранга. Для представителей авифауны бывшего СССР предложено заменить, уточнить или ввести в употребление более 130 русских названий. В отдельном приложении дан перечень видов, зарегистрированных в странах СНГ и Балтии, но не входящих в фауну России. С учетом этого приложения авифауна Северной Евразии (в границах бывшего СССР) составляет сейчас 875 видов.

Энтомология

В.Е.Гохман. КАРИОТИПЫ ПАРАЗИТИЧЕСКИХ ПЕРЕПОНЧАТОКРЫЛЫХ (НУМЕНОПТЕРА). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 185 с.

Паразитические перепончатокрылые — одна из крупнейших и наиболее сложных в таксономическом отношении групп насекомых. Монография

представляет собой первую в мировой литературе сводку, специально предназначенную для изучения структуры и эволюции кариотипов паразитических Нупепортера. На основе собственных и литературных данных автором обобщены результаты хромосомного исследования различных групп паразитических перепончатокрылых с использованием обычных и дифференциальных окрасок хромосом. Уточнен характер кариотической изменчивости большинства надсемейств и семейств паразитических Нупепортера, а также ряд таксонов более низкого ранга. Выявлены плезиоморфные и апоморфные признаки строения хромосомных наборов наездников и паразитических ос. Установлены особенности структуры кариотипа, пригодные для обнаружения и различения видов-двойников. На основании проведенных исследований модифицированы существующие классификации паразитических перепончатокрылых, а также описаны новые виды наездников.

Книга представляет интерес для специалистов-энтомологов, генетиков, а также для преподавателей и студентов биологических специальностей вузов.

История науки

ВАШ ЛЮБЯЩИЙ ВАЛЯ. ПИСЬМА ДОМОЙ: Сб. писем В.А.Догеля. Под ред. С.И.Фокина. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. 266 с.

Валентин Александрович Догель (1882—1955) — одна из ключевых фигур в отечественной зоологии первой половины XX в. — ученый, педагог, профессор Зоотомического кабинета Санкт-Петербургского университета и кафедры зоологии беспозвоночных Ленинградского университета, член-корреспондент Академии наук СССР. Он по праву считается одним из основателей отечест-

венной протозоологической школы и новой дисциплины — экологической паразитологии, созданной им и его учениками в 30-х годах XX в. Расцвет сравнительной анатомии беспозвоночных в советский период также во многом обязан работам Догеля. В конце жизни он обобщил свои научные изыскания в фундаментальных трудах: «Общая паразитология» (1947), «Общая протистология» (1951), «Олигомеризация гомологических органов как один из главных путей эволюции животных» (1954).

Книга знакомит читателей со значительной частью не издававшегося ранее эпистолярного наследия Догеля. Большая часть впервые публикуемых писем (1902—1942) к родителям и жене ученого посвящена его многочисленным научным поездкам по Европе, Азии и Африке. Документы, собранные в книге, снабжены подробными комментариями, большим числом иллюстраций и предварены воспоминаниями одного из последних его учеников — профессора В.В.Хлебовича, а также обширной биографической статьей, написанной доктором биологических наук С.И.Фокиным.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся историей естествознания и биографиями отечественных ученых первой половины XX в.

История науки

ДНЕВНИКИ ВУЛКАНОЛОГА БОРИСА ПИЙПА. Под ред. А.Белоусова и М.Белоусовой. М.: ЛОГАТА, 2006. 160 с.

В книге впервые публикуются полевые дневники известного советского вулканолога Бориса Ивановича Пийпа (1906—1966). Описаны его путешествия к Авачинскому и Ключевскому вулканам, знаменитое из-

вержение Ключевского вулкана в 1945 г., маршруты к кальдере Узон. Особый интерес представляет рассказ о «засекреченном» цунами на Курилах и Камчатке в 1952 г.

Пийп был очень наблюдательным, внимательным, дошным и скрупулезным ученым. Хорошим примером для нас может служить его слог, очень точные полевые зарисовки и петрографические описания. Круг его научных интересов был необычайно широк: он великолепно описывал шлифы, изучал включения, ксенолиты и вторичные минералы, интересовался мегаплаггиофировых лав (термин, который ввел Пийп), был озабочен проблемой развития геотермии на Камчатке. Можно сказать, что в нашей вулканологии он был последним Естествоиспытателем с большой буквы, потому что это характеризует особый подход к науке и огромное уважение ученого к объекту своих исследований. Кроме того, Борис Иванович занимался большой административной работой — организацией вначале Авачинского стационара, затем Камчатской геолого-геофизической обсерватории и, наконец, Института вулканологии.

Через несколько месяцев после многолюдной панихиды на Театральной площади в Москве любимый вулкан Бориса Ивановича, Ключевская сопка, салютовал в его честь. После десятилетнего перерыва произошел прорыв побочных кратеров по радиальной трещине на северо-восточном склоне, который безоговорочно был назван Прорывом Пийпа.

Сейчас на карте Камчатки есть вулкан Пийпа, в Петропавловске-Камчатском — бульвар Пийпа, где находится центр российской вулканологии и проходят ежегодно Пийповские чтения. Имя Бориса Ивановича живет.

«Второй Кронштадт»

В.М.Стародубцев

Историко-культурный заповедник «Керчь»

Керчь (Украина)

Ю.П.Супруненко,

кандидат географических наук

Институт географии РАН

Москва

«Керченская крепость лежит под 45°14' северной широты и 54°9' восточной долготы, на Керченском проливе, в Крыму, в Таврической губернии, на 4 версты к югу от портового города Керчи, на мысах Павловском и Ак-Бурунском. <...> Местность особыми историческими воспоминаниями не примечательна». Так начинается формуляр Керченской крепости, составленный к 1 января 1878 года [1]. Позволим себе не согласиться с составителями. Мыс Ак-Бурун с древних времен используется людьми как место возможной переправы через пролив [2]. Изучение древней истории мыса начал основатель Керченского музея древностей Поль Дюбрюкс. Наблюдавшиеся на местности следы стен и башен он отождествил с остатками одного из городов Боспорского царства — Нимфея [3].

Один из первых директоров Керченского музея древностей А.Е.Люценко описал Ак-Бурунские захоронения, вскрытые при строительстве крепости. Находки из курганов Ак-Бурунского некрополя более века изучаются, хранятся и экспонируются в Эрмитаже (Санкт-Петербург). Археологи отмечают на мысе следы трех поселений, существовавших во времена греческой колонизации Боспора [4, 5]. Датировка поселений весьма приближительна, — ученые справедливо обращают внимание на то, что Ак-Бурун в археологическом плане недостаточно

исследован [6]. Изучение истории строительства крепости, возведенной на мысе Ак-Бурун в третьей четверти XIX в., позволило несколько расширить источники информации о древнем прошлом этой «исторически не примечательной» местности [7].

Недостаточность археологических исследований на мысе есть следствие его полуторавековой отчужденности и изолированности в пользу военных. С 1854 г. и до начала XXI в. здесь непрерывно размещались воинские подразделения. Более того, для военных целей территорию стали использовать еще раньше — с июня 1771 г. Тогда на берегу, напротив суженной песчаными отмелями части пролива, была установлена первая в Крыму русская береговая батарея, впоследствии названная Павловской [8]. Батарея прослужила до начала XIX в. и была заброшена, так как оборону морских границ в то время с успехом осуществлял Черноморский флот.

Причиной строительства крепости на мысе Ак-Бурун и на Павловской позиции стала Крымская война, точнее — итоги этой войны. Известно, что, готовясь с осени 1853 г. к возможному нападению неприятеля, Керчь-Еникальский пролив перегораживают затопленными судами и подводными минами, а бывшую Павловскую батарею в 1854 г. вновь вооружают. Несмотря на принятые меры, в мае 1855 г. Керчь была занята войсками союзников, которые основывают здесь свой лагерь. Ос-

новой укреплений для лагеря на севере стала гряда возвышенностей и насыпи курганов древнего некрополя, превращенные французами в артиллерийские батареи. Вершины курганов, предположительно города Боспорского царства Нимфея, в 1855 г. были скрыты, на них затащили пушки, а для защиты от штурма впереди батарей выкопали ров.

Траншеи, соединившие артиллерийские батареи, замкнули периметр лагеря, окружив территорию площадью в несколько десятков гектаров. Берег моря был тылом, отсюда в случае осады русскими войсками французы ожидали получить помощь, не опасаясь русского флота, зная, что он уже не существует. На оконечности Ак-Буруна, тоже на вершине древнего кургана, была оборудована отдельная батарея, защищенная рвом. Ее задачей, по-видимому, была оборона позиции, с которой можно обстреливать береговую часть лагеря.

На территории лагеря союзные войска установили деревянные бараки для размещения войск, а причал Павловской батареи удлиннили и использовали для выгрузки орудий и запасов. Недалеко от причала был установлен аппарат, предназначенный для опреснения морской воды. Несомненно, недостаток питьевой воды в этой местности серьезно осложнял оборону. На плане лагеря отмечены и места двух кладбищ. Вероятно, здесь нашли свой последний покой солдаты союзных войск.

© Стародубцев В.М.,
Супруненко Ю.П., 2007



Северные ворота.

Осенью 1856 г. была объявлена Высочайшая воля о возведении укреплений в Керчи. Александр II изначально решил на строительство в проливе сильной крепости. Это раскрывается его отношением к первому проекту укреплений, который предложил в декабре 1856 г. военный инженер генерал-майор К.П.фон Кауфман, впоследствии первый генерал-губернатор Туркестана, много способствовавший изучению Средней Азии экспедициями Русского Географического общества.

В конце октября 1856 г. состоялось совещание Государственного комитета, в котором обсуждали записку генерал-адъютанта князя М.Д.Горчакова о некоторых предосторожностях в южных границах России. Было решено, в частности, принять все возможные меры к укреплению Керченского пролива, что включало — усиление крепости Еникале, перегораживание пролива с востока, а также минирование свободной части фарватера. Для принятия решения на юг командиром назначается начальник штаба, генерал-инспектор по инженерной части.

В середине декабря 1856 г. Кауфман прибыл в Керчь. Имея большие полномочия, он сделал ряд распоряжений. В частности, поручил Еникальскому градоначальнику приобрести переносные бараки, оставленные англичанами, и перевезти лесоматериалы, заготовленные перед войной, из деревни Илез до Евпатории и далее морем в Керчь. На эти работы и для заготовки камня было положено 25 тыс. руб.

Кауфман также распорядился: о доставке в Керчь материалов, оставшихся от укреплений устья Дона; о подраде нужного числа мастеровых из внутренних губерний России и о прибытии к 1 апреля 1857 г. до тысячи человек вольных рабочих; о подготовке Керченским адмиралтейством морского транспорта (четырёх канонерских лодок и трех азовских баркасов); о назначении на строительство мелкосидящего парохода из судов, принадлежащих Российскому обществу пароходства и торговли; о «возобновлении механического заведения от Луганского завода близ Керчи».

Руководство делами по укреплению пролива Кауфман

предложил поручить инженеру-полковнику А.А.Нату, возложив на него и окончание проекта укреплений. Нат хорошо знал ситуацию по обороне пролива, так как именно он в 1854 г. руководил работами по сооружению двух временных батарей на мысах Павловском и Ак-Бурун. В 1856 г. он состоял в распоряжении Наказного атамана Черноморского казачьего войска, и военный министр генерал-адъютант В.М.Сухозанет в начале января 1857 г. приказывает «полковнику Нату отправиться незамедлительно в Керчь». Общее наблюдение за ходом работ Военный министр возложил на генерал-майора Филиппсона, начальника Черноморского края.

Первоначальный проект укреплений, к подготовке которого имели отношение полковник Фолькмут, капитан Починский и полковник Нат, был известен как проект Кауфмана. Предлагалось строить укрепления на Павловской позиции, а не в Еникале, как предусматривалось Государственным комитетом. Об этом мы узнаем от полковника Карташевского, который сопровождал генерала Кауфмана в его поездке. Он пишет: «Генерал-майор Кауфман решил устроить укрепления там, где находилась Павловская батарея, пользуясь для обороны с тыла верками, возведенными союзными войсками. С приведением сего генерал-майор Кауфман предлагает вооружить укрепления 41 орудием и назначить в запас 18 орудий. <...> Для размещения команды потребуется устроить землянки и палатки, потребуется артиллерийская мастерская и лаборатористы». Проект предусматривал и перегораживание пролива каменной плотиной и свайными подводными сооружениями.

Проект был «Высочайше одобрен» 7 февраля 1857 г.; Александр II в целом утвердил план укреплений Павловской позиции, но повелел дополнительно построить форты в проливе — один на оконечности Тузлы

(на 80 пушек), другой на «риффе от мыса Ак-Бурун на 40 или 50 орудий». Значительное усиление укреплений, предложенное Александром II, раскрывает его личное отношение к проблеме защиты пролива. Александр изначально предполагал построить в проливе мощную крепость, «второй Кронштадт», надежно защищающий Азовское море.

По причине малонаселенности края строительство крепости в 1857 г. начали военно-рабочие роты. Известно, что 14-я рота прибыла из Севастополя в мае 1857 г., а 2-я была сформирована из бывшего военного поселения. Часть военных рабочих были женатыми. Они, по докладу ротного командира, «устроили собственные тесные жилища, в которых и проживают со своими семьями, претерпевая разные неудобства». Образовавшаяся возле строящихся укреплений слободка разрасталась с прибытием на стройку вольных людей.

Возможность заключить выгодную сделку привлекла на стройку предприимчивых людей. Первым купцом, получившим крупный контракт на строительство укреплений, был Пейсах Осипович Бигун.

В 1857 г. из назначенных работ на месте Павловской батареи «вчерне» насыпают береговые батареи. Построены были и два временных барака на 100 человек рабочих. Сооружается поворотная платформа под трехпудовую береговую пушку. Строятся временные помещения для кузницы и канцелярии. К концу года рядом с батареями были возведены две первые казематированные казармы и пороховые погреба, сохранившиеся до наших дней.

Одновременно со строительством на берегу начали и работы по перегораживанию пролива «каменной наброской». Камень «ломали» возле Нового Карантина. Известно, что для этого было устроено две пристани. В проливе, начиная от оконеч-



Мортирная батарея.

ности косы Тузлы по направлению к мысу Павловскому, к концу 1857 г. «выброшено» 264 кубических сажени камня, и заграждение в этом году протянулось на 95 сажений. Стройку посетил 26-летний генерал-инспектор по инженерной части Великий князь Николай Николаевич. До 1891 г. он будет номинальным главой военных инженеров империи.

Проект крепости, предложенный Кауфманом, мог быть осуществлен в 1859 г. Но в ходе строительства вносились изменения и дополнения. Например, почти через год после утверждения первоначального проекта, 17 января 1858 г., строитель укреплений инженер-полковник Нат докладывает в инженерный департамент: «Из-за продолжающихся морозов работы не производятся. Проект Павловских укреплений окончен и вчера отправлен». А в рапорте от 21 февраля он просит: «В случае изменения в проекте размещения зданий в главном форте необходимо нынче же почтить меня о том предписанием».

Весной 1858 г. Государственный совет, ограниченный послевоенным дефицитом бюджета, вынужден был отказаться от

укрепления сухопутных границ России. Но пример прошедшей войны, в которой флот противника сыграл решающую роль, по свидетельству современника, «появляясь несоразмерно быстро в разных местах», ставил перед необходимостью выделения средств на строительство Керченских укреплений и усиление Кронштадта. Для этих двух пунктов обороны назначили полтора миллиона рублей в год, и оговаривалось, чтобы главная часть этой суммы использовалась на укрепление Керченского пролива. Госсовет потребовал, чтобы «все постройки были возводимы с возможным сбережением издержек, без малейшего стремления к роскоши или щегольству, и чтобы укрепления требовали сколь возможно меньше гарнизонов для их защиты».

Весной после очистки пролива ото льда была осмотрена линия заграждения, «произведенная» в прошлом году. Строитель укреплений отмечает в рапорте, что каменная гряда «несколько осела, но не ниже поверхности воды». После пасхи (ее праздновали с 20 по 29 марта) продолжили наброску камня, и до конца месяца баржа сделала 10 рейсов, беря на борт



Капонир.

по 15 кубических саженьей камня. Для работ в проливе использовали железную баржу, канонерскую лодку, четыре перегрузочных баркаса и две легких казачьих лодки. Погрузку вели ночью, а днем с помощью баркасов баржу разгружали в проливе. Буря, разыгравшаяся в августе 1858 г., прорвала песчаные острова, включенные в линию заграждения, и разбросала верхние камни плотины. Это задержало работы, вынудив заделывать прорывы. Работы в проливе были прекращены в ноябре «по причине наступивших морозов». Всего в 1858 г. «выбросили» 1536 кубических саженьей камня, удлинив заграждение на 615 саженьей.

Пристань Павловской батареи зимой была повреждена напором льда. Строитель крепости в одном из рапортов доносит, что в части причала, «построенной неприятелем во время минувшей войны, многие сваи и раскосины срезаны». В марте причал ремонтируют и готовят к приему тяжелых грузов — в апреле 1858 г. ожидали прибытия первой партии вооружения. Но происходит задержка, возможно, связанная с подготовкой в Новочеркасске небольшого парохода «Предприятие», предназначенного для работы в про-

ливе. Вероятно, с его помощью в конце июля из Ростова была приведена первая баржа с вооружением.

15 августа 1858 г. строитель крепости инженер-полковник Нат докладывает: «На пристани Павловской батареи установлен кран для выгрузки орудий, по настоящее время выгружено 60 орудий, остальные 38, в том числе 2 бомбических, находятся на барже». Второго сентября он рапортует «Выгрузка орудий произведена успешно. <...> Теперь небольшая площадка у пристани совершенно завалена разными складами. Поднять на гору орудия, особенно тяжеловесные, как бомбические (430 пудов) и 36-фунтовые длинные пушки (до 300 пудов), не представляется возможным без особого приспособления, и потому приступлено к устройству покатости горы рельсового пути и медведок, а наверху шпилья для подъема всех тяжестей».

Количество доставленных пушек уже значительно превышало их число, предусмотренное проектом Кауфмана. В состав полученного вооружения входило: 12 трехпудовых «бомбических» пушек, 41 длинный единорог (пудовые и полупудовые), три длинных 36-фунтовых и восемь длинных 24-фунтовых

пушек. Доставлены были и корабельные 36-фунтовые карронады. После гибели Черноморского флота корабельные орудия, имевшиеся в запасе, использовали для вооружения береговых укреплений.

Орудия были успешно выгружены, подняты на берег Павловской позиции и, возможно, были установлены на семь подготовленных батарей. В сентябре ожидалось прибытие роты артиллеристов. Прибыли ли они к этому сроку, неизвестно, так как в декабре 1858 г. «на Павловском мысе других войск, кроме военно-рабочих», нет. Об этом сообщает полковник Нат в письме по поводу приобретения тулупов для часовых, выставлявшихся «для воспрепятствования доступа к батареям и сбережения материалов».

Распоряжением инспектора по инженерной части начинаются работы по исследованию грунта, строительных материалов, поиску сырья для производства цемента и воды. Для этих целей выделяется 15 тыс. руб. Камни из разных каменоломен испытываются на сопротивление раздавливанию, устойчивость к замораживанию и выветриванию. В Еникале устраивается печь на 5000 кирпичей для «исследования разных родов глины». В Одессе на заводе Фалька заказаны «приборы для исследования грунта в проливе на местах постройки фортов».

В конце лета на стройку в полном составе прибывает Минский пехотный полк. Третий его батальон отправлен в Керчь морем 23 июля, а первый и второй батальоны вышли из Знаменки пешком 26 июля и по плану прибыть должны были 30 августа. Пехотинцы с 15 сентября приступают к выемке рва и насыпке горжевого вала для прикрытия тыла береговых батарей. Одновременно начали земляные работы и в главном форте, где копают ров по его юго-западной границе. Проводится трассировка правого и левого люнетов, и здесь то-

же приступают к «отрывке» крепостного рва и насыпке оборонительного вала. В форте подрядчик Бигун продолжает строительство казарм, а военные строители начинают возводить здесь девять пороховых погребов. Готовятся условия для создания значительных запасов пороха. Для артиллерийского имущества строится сарай. Прибывшая артиллерийская рота занята вооружением батарей. С 25 октября назначается первый начальник крепостной артиллерии — подполковник Добровольский.

Большие затраты сил на возведение крепостной ограды замедлили перегораживание пролива. Морские работы в этом году состояли в исправлении частей заграждения, осевших за зиму. В пролив «выброшено» 723 куб. саженой камня, но заграждение в длину не увеличилось. В море начали и работы по исследованию дна на месте предполагавшихся морских фортов. Попытка бурения скважин с оборудованной для этих целей канонерской лодки была неудачна. Поэтому, ограничившись этой попыткой, подготовили станок для подъема буров и оборудовали кузницу у пристани.

Очередное заседание «Соединенного Комитета по укреплению берегов Черного и Балтийского морей», состоявшееся в 1859 г., планирует ускорение работ в Керчи, «покуда этот пункт не будет приведен в обеспеченное состояние». В частности, планируется строительство временных морских батарей (на 37 и 8 орудий) на месте задуманных Александром II морских фортов. Составление проекта батарей «поручено генерал-адъютанту Э.И.Тотлебену... при предвостановившей ему командировке в Керчь осенью сего года». У нас нет сведений об этой командировке. Но известно, что в октябре 1859 г. Тотлебен вступает в должность директора инженерного департамента. С этого времени, пользуясь глубоким



Казарма Минского люнета.

доверием Александра II, он фактически становится главным фортификатором России. В Керчи Тотлебен приступает к реализации боевого опыта, накопленного при обороне Севастополя.

Решением Комитета предусматривается, что для ускорения в 1860 г. работ, «по совершенной невозможности найма достаточного числа вольных рабочих людей, необходимо изыскать средства назначить для этих работ в помощь к вольным рабочим, войска в размере до 1200 человек ежедневных рабочих, с платою им по 25 копеек в день».

Начали и работы на Ак-Бурнском укреплении. Здесь тоже роют ров, насыпают главный вал и строят две потерны, которые позднее будут находиться под этим валом. Одновременно строят и пороховые погреба. На Ак-Буруне приступают к возведению офицерского флигеля.

На эспланаде начаты работы по устройству полотна для временной железной дороги, предназначенной для подвозки камня на сооружение «гавани». По видимому, ныне существующий

крепостной причал вначале строился как волнолом для скромной деревянной пристани, возведенной в первые годы строительства крепости.

Среди других работ предполагают окончить не позже 1 июня морское заграждение, потратив на него 350 тыс. руб. из 800 тыс., запланированных на все строительные работы по укреплению Керченского пролива. Работы по заграждению в 1860 г. передали «на особых условиях» инженер-капитану Починскому, «предложившему произвести работы по уменьшенной цене, выгодной для казны». В этом году «выбросили» рекордное количество камня — 7377 куб. саженой, продлив заграждение еще на 700 саженой. Общая длина каменной преграды превысила 3 км. Продолжались работы по исследованию дна пролива. На местах, определенных под морские форты, строят четыре буровые платформы.

В сентябре 1860 г. директор инженерного департамента Тотлебен осматривает работы, произведенные в строящейся крепости. По завершении инспектирования «им были указа-

ны те начала, которые должны были служить основанием для составления окончательного проекта».

Так прошли первые четыре года большой стройки. Через шестнадцать лет она станет второй по мощи и значению, после

Кронштадта, приморской крепостью империи. Хорошо «приспособленная к местности», с многочисленными казематами — укрытиями для солдат и припасов, с подземными ходами сообщений, и лучшим для своего времени вооружением,

крепость встретит очередную русско-турецкую войну 1877 г. Не приняв участие в сражениях, крепость своим безмолвным присутствием оградит Крым, побережье Азовского моря и кубанские земли от возможной агрессии. ■

Литература

1. РГВИА. Ф.802. Оп.5. Д.7178. Л.1.
2. Федосеев Н.Ф. Еще раз о переправе через Боспор Киммерийский // Археология и история Боспора. Т.3. Керчь, 1999. С.61—99.
3. Дюбрюкс П. Описание развалин и следов городов и укреплений, некогда существовавших на европейском берегу Босфора Киммерийского, от входа в пролив близ Еникальского маяка до горы Опук включительно, при Черном море // ЗООИД. Т.4. 1858. С.3—84.
4. Семенов С.А., Кунин В.Э. Разведки на Керченском полуострове // Археология и история Боспора. Т.2. Керчь, 1962. С.257—262.
5. Шестаков С.А. К вопросу о локализации Боспорского города Гермисия // Археология и история Боспора. Т.3. Керчь, 1999. С.103—110.
6. Виноградов Ю.А. Из истории археологических раскопок на мысе Ак-Бурун под Керчью // Археологические вести. Т.8. 2001. С.311—315.
7. Стародубцев В.М. Ак-Бурунский некрополь в документах инженерного департамента // Боспорский феномен. СПб., 2005. С.112.
8. РГВИА. Ф.428. Оп.1. Д.22876.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
М.В.КУТКИНА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.08.2007
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 511
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6